



TUGAS AKHIR - TF 091581

EVALUASI *RELIABILITY* PADA *HIGH PRESSURE MAIN STEAM SYSTEM* MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY DI PLTGU PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN GRESIK

**PUDJATMIKO ARDI
NRP. 2412 105 004**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Ya'umar, MT**

**Program Studi S1 Teknik Fisika
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TF 091581

***RELIABILITY EVALUATION HIGH PRESSURE
MAIN STEAM SYSTEM USING FUZZY LOGIC
METHODE AT PLTGU PT PJB UP GRESIK***

**PUDJATMIKO ARDI
NRP. 2412 105 004**

***Advisor :
Ir. Ya'umar, MT***

***Program Study S1 Engineering Physics
Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology (FTI)
Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS)
Surabaya 2015***

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI *RELIABILITY* PADA *HIGH PRESSURE MAIN STEAM SYSTEM* MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY DI PLTGU PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN GRESIK

TUGAS AKHIR

Oleh :

Pudjatmiko Ardi

NRP : 2412 105 004

Surabaya, Januari 2015

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing,

Ir. Ya'umar, MT.

NIP. 19540406 198103 1 003

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS**

Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

NIP. 19650309 199002 1 001



EVALUASI *RELIABILITY* PADA *HIGH PRESSURE MAIN STEAM SYSTEM* MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY DI PLTGU PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN GRESIK

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:
PUDJATMIKO ARDI
NRP. 2412 105 004**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------|
| 1. Ir. Ya'umar, MT. | (Pembimbing) |
| 2. Hendra Cordova, ST., MT. | (Ketua Penguji) |
| 3. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc. | (Penguji I) |
| 4. Nur Laila Hamidah, ST., M.Sc. | (Penguji II) |

**SURABAYA
Januari 2015**

**EVALUASI *RELIABILITY* PADA *HIGH PRESSURE MAIN STEAM SYSTEM* MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY
DI PLTGU PT. PJB UNIT PEMBANGKITAN GRESIK**

Nama Mahasiswa	: Pudjatmiko Ardi
NRP	: 2412 105 004
Program Studi	: S1-Teknik Fisika
Jurusan	: Teknik Fisika FTI-ITS
Pembimbing	: Ir. Ya'umar, MT

Abstrak

High pressure main steam system merupakan sistem yang berfungsi untuk menyuplai salah satu produk yang dihasilkan *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) yang berupa *high pressure steam*. *High pressure steam* yang dihasilkan dari ketiga HRSG, kemudian bergabung menjadi satu untuk menggerakkan HP steam turbin yang sisanya diumpankan untuk menggerakkan LP steam turbin untuk menghasilkan daya listrik. Tingkat keandalan dari komponen penyusun *high pressure main steam system* menjadi point penting yang perlu diperhatikan agar dapat bekerja dengan baik dan dapat menunjang operasional steam turbin generator dalam memproduksi listrik. Metode logika fuzzy merupakan salah satu cara alternatif yang efektif dalam mengkarakteristikan keandalan suatu sistem atau komponen, dimana menggunakan data MTTF dan MTTR yang merupakan data yang diperoleh dari rata-rata *time to failure* (TTF) dan juga rata-rata *time to repair* (TTR) setiap komponen. Dari hasil evaluasi *reliability* menggunakan logika fuzzy diperoleh nilai *reliability* terburuk pada waktu 7000 jam adalah TBCV-1 yaitu 0,303 sedangkan komponen dengan nilai *reliability* terbaik adalah BOV-2 yaitu 0,838. Besarnya pengaruh (penyimpangan) tiap faktor distribusi kegagalan terhadap logika fuzzy ditunjukkan dengan nilai U yang diperoleh dengan metode regresi. Faktor distribusi kegagalan dengan nilai U tertinggi adalah distribusi kegagalan weibull-3 yaitu sebesar 0.647767. Sedangkan faktor distribusi kegagalan dengan nilai U terendah adalah distribusi kegagalan weibull-2 yaitu sebesar 0.045687. Untuk penjadwalan *maintenance* dapat diketahui bahwa komponen yang memiliki interval terpendek untuk dilakukan perawatan rutin adalah komponen TBCV-1 dan TBCV-2 yaitu selama 1500 jam sekali

Kata kunci: *Reliability*, Logika Fuzzy, *HP Main Steam System*

**RELIABILITY EVALUATION HIGH PRESSURE MAIN STEAM
SYSTEM USING FUZZY LOGIC METHODE AT PLTGU PT PJB
UP GRESIK**

Name : Pudjarmiko Ardi
NRP : 2412 105 004
Program Study : S1 - Engineering Physics
Department : Engineering Physics FTI-ITS
Advisor : Ir. Ya'umar, MT

Abstract

High pressure main steam system is a system that serves to supply any of the products produced by the Heat Recovery Steam Generator (HRSG) in the form of high pressure steam. High pressure steam generated from the third HRSG, then merge into one to drive the HP steam turbine to drive the remainder fed the LP steam turbine to generate electric power. The reliability of the components of high pressure main steam system is important point to note in order to work well and can support the operations of the steam turbine generator in producing electricity. Fuzzy logic method is one effective alternative means for characterizing systems reliability or components, which uses data MTTF and MTTR is the data obtained from the average time to failure (TTF) and the average time to repair (TTR) each component. From the evaluation results reliability using fuzzy logic worst reliability values obtained at the time is 7000 hours TBCV-1 is 0,303 while the components with the best reliability value is BOV-2 is 0.838. The magnitude of the influence (deviation) of each factor to the failure distribution fuzzy logic indicated by the U value obtained by regression method. Failure distribution factor with the highest U value is the failure distribution weibull-3 that is equal to 0.647767. While the failure distribution factor with low U value is the failure distribution weibull-2 that is equal to 0.045687. For maintenance scheduling can be seen that the component that has the shortest interval for routine maintenance is TBCV-1 and TBCV-2 is over 1500 hours once

Keywords : Reliability, Fuzzy Logic, HP main steam system

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayat serta inayahnya dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Evaluasi Reliability Pada High Pressure Main Steam System Menggunakan Metode Logika Fuzzy di PLTGU PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik”**. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Ir. Ya'umar, MT yang telah sabar dalam memberikan dukungan, bimbingan dan ilmunya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah.
4. Bapak / Ibu seluruh karyawan Teknik Fisika yang telah membantu kelangsungan belajar di Jurusan Teknik Fisika.
5. Bapak Moch. Al-Ahyudi sebagai Pembimbing di PT. PJB UP Gresik.
6. Bapak Maskur dan Bapak Ludfi Hariyono sebagai pembimbing di Rendal.
7. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan secara moril maupun materil setiap waktu.
8. Teman-teman seperjuangan angkatan LJ Teknik Fisika 2012 dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
9. Dan semua pihak yang telah mendukung dan memberikan doa yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 17 Januari 2015

Penulis

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Karakterisasi Model Logika Fuzzy	23
Tabel 3.2	Aturan Fuzzy Nilai Reliability	28
Tabel 4.1	Boiler Outlet Valve - 1	33
Tabel 4.2	Turbin Bypass Control Valve -1	36
Tabel 4.3	Boiler Outlet Valve - 2	39
Tabel 4.4	Turbin Bypass Control Valve -2	42
Tabel 4.5	Boiler Outlet Valve - 3	46
Tabel 4.6	Turbin Bypass Control Valve - 3	49
Tabel 4.7	Main Stop Valve - Right Hand	52
Tabel 4.8	Main Control Valve - Right Hand	55
Tabel 4.9	Main Stop Valve - Left Hand	58
Tabel 4.10	Main Control Valve - Left Hand	61
Tabel 4.11	<i>Reliability</i> Metode Logika Fuzzy	65
Tabel 4.12	<i>Maintainability</i> Metode Logika Fuzzy	66
Tabel 4.13	<i>Availability</i> Metode Logika Fuzzy	68
Tabel 4.14	Perbandingan <i>Reliability</i> pada t = 500 jam	69
Tabel 4.15	Perbandingan <i>Reliability</i> pada t = 3500 jam	70
Tabel 4.16	Perbandingan <i>Reliability</i> pada t = 7000 jam	70
Tabel 4.17	Perbandingan <i>Maintainability</i>	71
Tabel 4.18	Perbandingan <i>Availability</i>	72
Tabel 4.19	Hubungan Nilai <i>Reliability</i> Distribusi Weibull-2 dengan Nilai <i>Reliability</i> Logika Fuzzy	73
Tabel 4.20	Hasil Perhitungan Nilai U Untuk Tiap Distribusi Kegagalan	74
Tabel 4.21	Rekomendasi Jadwal Perawatan Rutin	76

DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	3
 BAB II DASAR TEORI.....	 5
2.1 <i>High Pressure Main Steam System</i>	5
2.2 Keandalan (<i>Reliability</i>).....	7
2.3 Laju Kegagalan	8
2.4 <i>Maintainability</i>	11
2.5 <i>Availability</i>	12
2.6 Logika Fuzzy	12
2.7 Regresi.....	14
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	 17
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.2 Studi Literatur	18
3.3 Identifikasi Komponen	18
3.4 Pengambilan Data	18
3.5 Pengolahan Dan Analisis Data.....	19
3.6 Perhitungan Ketidakpastian	31

3.7 Penentuan Jadwal <i>Maintenance</i>	31
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Analisis Menggunakan Metode Kuantitatif.....	33
4.1.1 Analisis Kuantitatif <i>Boiler Outlet Valve</i> – 1	33
4.1.2 Analisis Kuantitatif <i>Turbin Bypass Control Valve</i> – 1	36
4.1.3 Analisis Kuantitatif <i>Boiler Outlet Valve</i> – 2	39
4.1.4 Analisis Kuantitatif <i>Turbin Bypass Control Valve</i> – 2	42
4.1.5 Analisis Kuantitatif <i>Boiler Outlet Valve</i> – 3	45
4.1.6 Analisis Kuantitatif <i>Turbin Bypass Control Valve</i> – 3	49
4.1.7 Analisis Kuantitatif <i>Main Stop Valve</i> – RH.....	52
4.1.8 Analisis Kuantitatif <i>Main Control Valve</i> – RH....	55
4.1.9 Analisis Kuantitatif <i>Main Stop Valve</i> – LH.....	58
4.1.10 Analisis Kuantitatif <i>Main Control Valve</i> – LH..	61
4.2 Analisis Menggunakan Metode Logika Fuzzy	64
4.3 Perbandingan Metode Kuantitatif Dengan Metode Logika Fuzzy	69
4.4 Perhitungan Ketidakpastian	73
4.5 Penjadwalan <i>Maintenance</i>	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	
LAMPIRAN E	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	P&ID HP <i>Main Steam System</i>	6
Gambar 2.2	Struktur Dasar Logika Fuzzy	13
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3.2	Skema Komponen Yang Sering Mengalami Kerusakan	18
Gambar 3.3	Pemasukan Data TTF	20
Gambar 3.4	Pengujian Distribusi TTF	20
Gambar 3.5	Hasil Uji Distribusi	21
Gambar 3.6	Hasil Parameter Distribusi	21
Gambar 3.7	Desain Input Output Pada FIS Editor	25
Gambar 3.8	Himpunan MTTF	26
Gambar 3.9	Himpunan Waktu	26
Gambar 3.10	Himpunan <i>Reliability</i>	27
Gambar 3.11	Aturan Fuzzy	28
Gambar 3.12	Basis Aturan Reliability Pada Rule Editor	29
Gambar 3.13	Diagram Alir Logika Fuzzy	30
Gambar 4.1	Grafik <i>Reliability</i> BOV-1	34
Gambar 4.2	Grafik <i>Maintainability</i> BOV-1	35
Gambar 4.3	Grafik <i>Availability</i> BOV-1	35
Gambar 4.4	Grafik <i>Reliability</i> TBCV-1	37
Gambar 4.5	Grafik <i>Maintainability</i> TBCV-1	38
Gambar 4.6	Grafik <i>Availability</i> TBCV-1	39
Gambar 4.7	Grafik <i>Reliability</i> BOV-2	40
Gambar 4.8	Grafik <i>Maintainability</i> BOV-2	41
Gambar 4.9	Grafik <i>Availability</i> BOV-2	42
Gambar 4.10	Grafik <i>Reliability</i> TBCV-2	43
Gambar 4.11	Grafik <i>Maintainability</i> TBCV-2	44
Gambar 4.12	Grafik <i>Availability</i> TBCV-2	45
Gambar 4.13	Grafik <i>Reliability</i> BOV-3	47
Gambar 4.14	Grafik <i>Maintainability</i> BOV-3	48
Gambar 4.15	Grafik <i>Availability</i> BOV-3	48
Gambar 4.16	Grafik <i>Reliability</i> TBCV-3	50

Gambar 4.17	Grafik <i>Maintainability</i> TBCV-3	51
Gambar 4.18	Grafik <i>Availability</i> TBCV-3	51
Gambar 4.19	Grafik <i>Reliability</i> MSV-RH	53
Gambar 4.20	Grafik <i>Maintainability</i> MSV-RH	54
Gambar 4.21	Grafik <i>Availability</i> MSV-RH	54
Gambar 4.22	Grafik <i>Reliability</i> MCV-RH	56
Gambar 4.23	Grafik <i>Maintainability</i> MCV-RH	57
Gambar 4.24	Grafik <i>Availability</i> MCV-RH	57
Gambar 4.25	Grafik <i>Reliability</i> MSV-LH	59
Gambar 4.26	Grafik <i>Maintainability</i> MSV-LH	60
Gambar 4.27	Grafik <i>Availability</i> MSV-LH	60
Gambar 4.28	Grafik <i>Reliability</i> MCV-LH	62
Gambar 4.29	Grafik <i>Maintainability</i> MCV-LH	63
Gambar 4.30	Grafik <i>Availability</i> MCV-LH	63
Gambar 4.31	Surface <i>Reliability</i> Logika Fuzzy	65
Gambar 4.32	Surface <i>Maintainability</i> Logika Fuzzy	67
Gambar 4.33	Surface <i>Availability</i> Logika Fuzzy	68
Gambar 4.34	Hubungan Faktor Distribusi Kegagalan Terhadap nilai U	75

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga gas uap atau juga disebut *combined cycle power plant* merupakan metode yang efisien untuk pembangkitan listrik, dimana pembangkit jenis ini memanfaatkan gas buang dari gas turbin sebagai energi panas untuk menghasilkan *steam*. *Steam* yang dihasilkan akan digunakan untuk memutar *steam turbin generator* sehingga dapat menghasilkan listrik.

High pressure main steam system merupakan sistem yang berfungsi untuk menyuplai salah satu produk yang dihasilkan *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) yang berupa *high pressure steam*. *High pressure steam* yang dihasilkan dari ketiga HRSG, kemudian bergabung menjadi satu untuk menggerakkan HP steam turbin yang sisanya diumpankan untuk menggerakkan LP steam turbin untuk menghasilkan daya listrik. *High pressure steam* yang disuplai memiliki tekanan maksimum sebesar $\pm 74 \text{ kg/cm}^2$ dan temperature sebesar $\pm 487^\circ\text{C}$. *High pressure main steam system* memiliki sebuah subsystem yaitu *turbin bypass system*. *Turbin bypass system* berfungsi untuk untuk mem-bypass *steam turbin* hingga tercapai kondisi steam yang diizinkan pada *steam line* selama *startup* atau *normal shutdown*. Terjadinya masalah pada komponen-komponen pada *high pressure main steam system* dapat menyebabkan terganggunya supply *high pressure steam* menuju *steam turbin*. Tingkat keandalan dari komponen penyusun *high pressure main steam system* menjadi point penting yang perlu diperhatikan agar dapat bekerja dengan baik dan dapat menunjang operasional steam turbin generator dalam memproduksi listrik.

Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi nilai reliability pada *high pressure main steam system* yang terkait banyaknya waktu kegagalan/kerusakan pada komponen-komponen.

Berdasarkan nilai *reliability* yang diperoleh, maka dapat digunakan untuk mengetahui *lifetime* dari suatu komponen dan prediksi waktu *maintenance* rutin ataupun waktu penggantian komponen. Dalam penentuan nilai *reliability*, salah satu metode yang dapat digunakan selain metode kuantitatif adalah metode logika fuzzy. Metode logika fuzzy merupakan salah satu cara alternatif yang efektif dalam mengkarakteristikan keandalan suatu sistem atau komponen [1], dimana logika fuzzy mempunyai toleransi terhadap ketidakakuratan data-data.

Penentuan nilai *reliability* menggunakan logika fuzzy pada *high pressure main steam system* diharapkan dapat memberikan alternatif selain metode kuantitatif dan dapat memberikan rekomendasi penjadwalan ulang *maintenance* rutin secara efektif sehingga dapat mengurangi kemungkinan kerusakan pada komponen *high pressure main steam system*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, permasalahan yang dapat diangkat dalam Tugas Akhir ini adalah :

- a. Bagaimana cara mengidentifikasi komponen-komponen pada *HP main steam system* yang berpotensi sering mengalami kegagalan
- b. Bagaimana cara menentukan nilai *reliability* komponen-komponen pada *HP main steam system* dengan metode logika fuzzy
- c. Bagaimana cara menentukan penjadwalan *maintenance* yang tepat dan efektif

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menimbulkan permasalahan yang meluas dan diluar topik yang diangkat, maka disusun beberapa batasan masalah, yaitu.

- a. Objek penelitian difokuskan *HP main steam system*
- b. Data yang digunakan berupa data perawatan yang berasal dari *work order*
- c. Data yang digunakan berupa data perawatan pada komponen yang sering mengalami kegagalan
- d. Pendekatan distribusi didapatkan dengan menggunakan software reliasoft weibull ++6
- e. Metode logika fuzzy disimulasikan menggunakan software Matlab

1.4 Tujuan

Tujuan yang akan ingin dicapai pada tugas akhir ini yaitu:

- a. Untuk menentukan nilai *reliability* pada *HP main steam system* melalui pendekatan kuantitatif
- b. Untuk menentukan nilai *reliability* pada *HP main steam system* melalui pendekatan logika fuzzy
- c. Untuk menentukan penjadwalan *maintenance* yang tepat dan efektif

1.5 Sistematika Laporan

Penyusunan laporan tugas akhir disusun secara sistematis dalam lima bab utama agar memudahkan pemahaman dengan uraian penjelasan lanjut sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Terdiri atas : Latar Belakang, Rumusan Permasalahan, Batasan Masalah, Tujuan dan Sistematika Laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi mengenai pemaparan teori dan referensi yang digunakan sebagai konsep dan prinsip dasar yang diperlukan dan mendukung dalam memecahkan masalah dalam penelitian ini.

BAB III METODOLOGI

Berisi urutan langkah-langkah dan metode yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Menampilkan analisa dari permasalahan berdasarkan data yang telah diperoleh dan diolah dalam penelitian ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan kesimpulan yang telah diperoleh dari hasil penelitian secara keseluruhan dan berisi saran yang dimungkinkan untuk dilakukan pengembangan dan penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

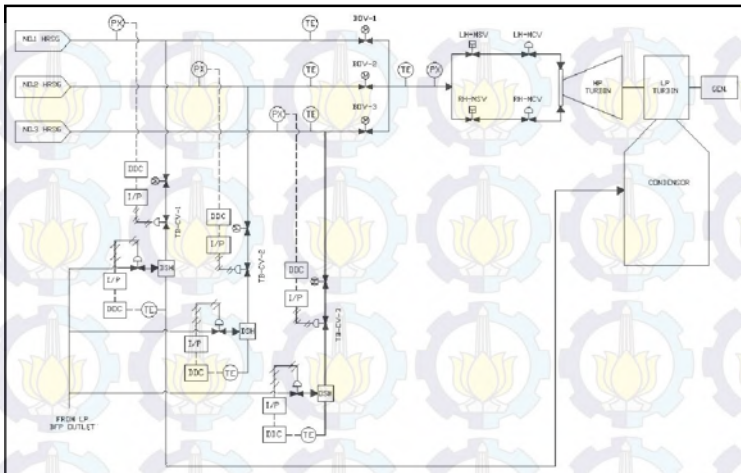
Berisikan sumber-sumber referensi yang menunjang dalam penulisan penelitian.

LAMPIRAN

BAB II DASAR TEORI

2.1 *High Pressure Main Steam System*

High pressure steam merupakan salah satu hasil akhir dari HRSG (Heat Recovery steam Generator) yang digunakan untuk memutar steam turbin generator. Pada PLTGU (*Combined Cycle Power Plant*) terdapat salah satu sistem yang penting yaitu *high pressure main steam system*. Fungsi utama *high pressure main steam system* adalah untuk menyuplai *high pressure steam* yang berasal dari HRSG menuju HP steam turbin. HP steam turbin disuplai *high pressure steam* yang berasal dari 3 unit HRSG, dimana *high pressure steam* yang disuplai memiliki tekanan maksimum sebesar $\pm 74 \text{ kg/cm}^2$ dan temperature sebesar $\pm 487^\circ\text{C}$. Gabungan dari 3 *high pressure steam*, sebelum menuju ke HP steam turbin, mendapatkan monitoring suhu dan tekanan secara ketat. Steam yang menuju HP steam turbin melewati main stop valve dan main control valve. bersamaan. Juga, steam turbin generator harus disinkronisasikan dan membawa load yang cukup (aliran steam mencukupi) sebelum tekanan dapat dikontrol. *High pressure main steam system* terdiri dari beberapa valve dan sebuah subsystem yaitu *turbin bypass system*. *Turbin bypass system* berfungsi untuk untuk mem-bypass steam turbin hingga tercapai kondisi steam yang diizinkan pada *steam line* selama *startup* atau *normal shutdown*. Berikut adalah gambar P&ID dari *high pressure main steam system*. [6]



Gambar 2.1. P&ID HP Main Steam System

Berdasarkan data maintenance terdapat beberapa komponen yang sering mengalami kerusakan dimana komponen tersebut diantaranya adalah sebagai berikut :

- *Boiler Outlet Valve (BOV)*
Boiler outlet valve merupakan jenis valve yang digerakkan oleh motor, dimana BOV terletak pada pipa outlet HRSG dan sebelum *main stop valve*. Fungsi utama BOV adalah untuk mengisolasi jika salah satu HRSG mengalami masalah saat menyuplai *steam* menuju steam turbin.
- *Turbin Bypass Control Valve (TBCV)*
Turbine bypass control valve berfungsi untuk mengendalikan tekanan *steam* pada pipa outlet HRSG selama proses *startup* atau *normal shutdown*. Selain berfungsi mengalihkan aliran steam yang akan menuju HP turbin ke condensor ketika terjadi gangguan/turbin trip.

- **Main Stop Valve (MSV)**

Main stop valve pada umumnya terpasang di depan turbin. Terdapat pada pipa *steam* utama antara BOV dan *main control valve*. *Main stop valve* terdiri dari dua buah yaitu pada sisi kanan turbin (*right hand*) dan sisi kiri turbin (*left hand*). Fungsi utama *main stop valve* yaitu menutup dengan cepat aliran *steam* ke turbin ketika terjadi gangguan/ turbin trip.

- **Main Control Valve (MCV)**

Main control valve pada umumnya terpasang di depan turbin. Terdapat pada pipa *steam* utama antara *main stop valve* dan HP turbin. *Main control valve* terdiri dari dua buah yaitu pada sisi kanan turbin (*right hand*) dan sisi kiri turbin (*left hand*). Fungsi utama *main control valve* yaitu mengatur aliran *steam* dari HRSG ke turbin sesuai kebutuhan turbin.

2.2 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu komponen atau sistem untuk melaksanakan fungsi yang diperlukan di dalam lingkungan dan kondisi operasional tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan [2]. Jadi, keandalan merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi keberhasilan proses produksi. Keandalan menjadi sangat penting karena akan mempengaruhi biaya pemeliharaan yang ada akhirnya akan mempengaruhi profitabilitas perusahaan. Secara umum ada dua metode yang dipakai untuk melakukan evaluasi keandalan suatu sistem, yaitu:

- a. **Metode Kualitatif**

Metode kualitatif merupakan metode analisa secara *quality* dari suatu *mode* dan dampak kegagalan, seperti *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis* (FMECA), *Fault*

Tree Analysis (FTA) dan *Reliability Centered Maintenance* (RCM).

b. Metode Kuantitatif

Metode kuantitatif merupakan metode analisa yang dilakukan secara perhitungan matematis. Metode ini dapat dilakukan melalui perolehan data perawatan (*maintenance record*) terhadap waktu kegagalan (*time to failure*) dan waktu perbaikan (*time to repair*) dari suatu komponen atau sistem.

2.3 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen atau sistem [3].

Distribusi Laju Kegagalan:

a. **Distribusi Normal**

Distribusi *normal* yang sering disebut juga dengan distribusi gaussian adalah salah satu jenis distribusi yang paling sering digunakan dalam menjelaskan sebaran data. *Probability density function* (PDF) dari distribusi *normal* adalah simetris terhadap nilai rata-rata (*mean*) dan dispersi terhadap nilai rata-ratanya diukur dengan nilai standar deviasi. Dengan kata lain parameter distribusi *normal* adalah *mean* dan standar deviasi. *Probability density function* dari distribusi *normal* Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen atau sistem mengikuti distribusi *normal*. maka: [3]

- Fungsi keandalannya adalah:

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.1)$$

- Laju kegagalan adalah:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2 \quad (2.2)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

- Waktu rata – rata kegagalan adalah:

$$MTTF = \mu \quad (2.4)$$

b. Distribusi Lognormal

Karakteristik distribusi *lognormal* mempunyai dua parameter yang pertama parameter lokasi (μ) dan yang kedua parameter skala (σ). Jika distribusi waktu antar kegagalan mengikuti distribusi *lognormal*. [3]

- Fungsi keandalannya adalah:

$$R(t) = 1 - \phi\left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.5)$$

- Laju kegagalan adalah :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}\right)^2 \quad (2.6)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.7)$$

- Waktu rata – rata kegagalan adalah:

$$MTTF = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.8)$$

c. Distribusi Weibull

Distribusi *weibull* telah digunakan secara luas dalam teknik kehandalan. Keuntungan dari distribusi ini adalah bisa digunakan untuk merepresentasikan banyak PDF serta bisa digunakan untuk variasi data yang luas. distribusi *weibull* Mempunyai 2 (η , β) atau 3 (η , β , γ) parameter, nilai η , β , γ dapat diketahui dari *weibull probability paper* atau dari *software*, Saat nilai $\beta=1$ dan $\gamma=0$ *weibull* akan ekivalen dengan distribusi *eksponensial*, saat nilai $\beta= 3,44$ *weibull* akan mendekati distribusi *normal*. Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi *weibull*, maka : [3]

- Fungsi keandalannya adalah:

$$R(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right\} \quad (2.9)$$

- Laju kegagalan adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.10)$$

- Waktu rata – rata kegagalan adalah:

$$MTTF = \gamma + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.11)$$

d. **Distribusi Eksponensial**

Fungsi *Probability Density Function* pada distribusi eksponensial pada persamaan berikut :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (2.10)$$

$$t > 0, \lambda > 0, t \geq \gamma$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi eksponensial, maka: [5]

- Fungsi keandalannya adalah:

$$R(t) = e^{-\lambda(t\gamma)} \quad (2.11)$$

- Laju kegagalan adalah :

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.12)$$

- Waktu rata – rata kegagalan adalah:

$$MTTF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.13)$$

2.4 **Maintainability**

Maintainability didefinisikan sebagai kemungkinan bahwa suatu sistem atau komponen yang gagal diperbaiki pada interval (0,t) [3].

- Persamaan maintainability untuk distribusi weibull adalah

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.14)$$

- Persamaan maintainability untuk distribusi eksponensial adalah:

$$M(t) = 1 - e^{\frac{-t}{MTTR}} \quad (2.15)$$

Dimana nilai parameter MTTR adalah:

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (2.16)$$

- Persamaan maintainability untuk distribusi lognormal adalah:

$$M(t) = \phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right) \quad (2.17)$$

2.5 Availability

Availability didefinisikan sebagai probabilitas bahwa sebuah item akan tersedia saat dibutuhkan (dengan berbagai kombinasi aspek-aspek keandalannya, kemampurawatan, dan dukungan perawatan), atau proporsi dari total waktu bahwa sebuah item tersedia untuk digunakan [3].

$$A(t) = \left[\left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) + \left(\left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right) \right] \quad (2.20)$$

Dimana :

λ = *failure rate* dari waktu antar kegagalan

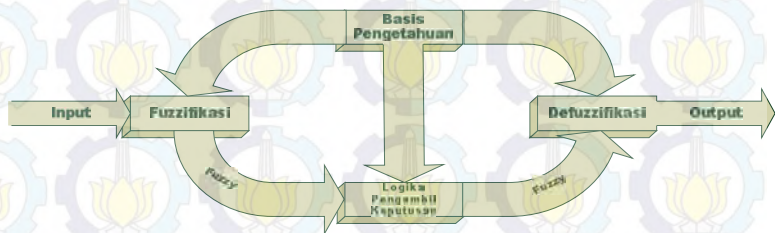
μ = $1/MTTR$

2.6 Logika Fuzzy

Lotfi A. Zadeh, profesor ilmu pengetahuan komputer dari Universitas California, Barkeley merupakan orang pertama yang memperkenalkan logika *fuzzy* pada tahun 1965 dan memodifikasi teori himpunan dimana dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai berlanjut antara 0 sampai dengan 1 berbeda dengan logika digital yang hanya memiliki logika 0 dan 1. logika *fuzzy*

digunakan untuk mengartikan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (*linguistic*) Beberapa kelebihan *fuzzy logic* sebagai berikut : [5]

- Konsep logika fuzzy mudah untuk dimengerti, konsep matematis yang menjadi dasar *fuzzy logic* cukup sederhana dan mudah dimengerti.
- Logika fuzzy sangat fleksibel
- Logika fuzzy dapat memodelkan fungsi-fungsi *nonlinier* yang sangat kompleks
- Logika fuzzy mempunyai toleransi terhadap data-data yang kurang tepat.
- Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.



Gambar 2.2. Struktur Dasar Logika Fuzzy

Adapun struktur dasar logika *fuzzy* sebagai berikut:

- *Fuzzifikasi*, berfungsi untuk mengubah sinyal masukan yang bersifat *crisp* (bukan himpunan *fuzzy*) ke dalam himpunan *fuzzy*.
- Basis pengetahuan, berisi basis data dan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas daerah masukan dan keluaran

- Logika pengambilan keputusan, merupakan inti dari logika *fuzzy* yang mempunyai kemampuan seperti manusia dalam mengambil keputusan.
- *Defuzzifikasi*, memiliki fungsi terbalik dengan *fuzzifikasi* yaitu mentransformasikan kesimpulan yang bersifat *fuzzy* menjadi sinyal yang bersifat *crisp*.

2.7 Regresi

Regresi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui bentuk hubungan fungsional antara dua variabel atau dua faktor. Dalam analisis regresi, terdapat ada dua jenis variabel (Pamungkas, 2013) yaitu variabel respon (variabel terikat) dengan simbol y dan variabel prediktor (variabel bebas) dengan simbol x . Variabel respon (variabel terikat) adalah variabel yang keberadaannya dipengaruhi oleh variabel lainnya sedangkan variabel prediktor (variabel bebas) adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya. Untuk regresi linier sederhana bentuk persamaannya dapat digambarkan melalui persamaan (2.21) berikut ini (Musyafa', 2007).

$$y = a + bx + \epsilon \quad (2.21)$$

Dimana :

y = hasil pengukuran

x = besaran yang diukur

a, b = konstanta

ϵ = adalah faktor residual (sisir) atau bisa dilambangkan dengan notasi R , dengan persamaan matematis seperti pada persamaan (2.22) berikut ini.

$$R = (y_i - a - b \cdot x_i) \quad (2.22)$$

Nilai konstanta a dan b dapat dilakukan dengan cara mendiferensialkan *Sum Square of the Residual* (*SSR*) terhadap nilai konstanta a dan b . Dengan persamaan *SSR* yang ditunjukkan pada persamaan (2.23) di bawah ini.

$$SSR = (y_i - a - b \cdot x_i)^2 \quad (2.23)$$

Untuk diferensial *SSR* terhadap a adalah

$$\frac{\partial(SSR)}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - b \cdot x_i) \quad (2.24)$$

Untuk diferensial *SSR* terhadap b adalah

$$\frac{\partial(SSR)}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - b \cdot x_i) x_i \quad (2.25)$$

Sehingga didapatkan nilai a dan b sebagai berikut.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n} = y - b \cdot x \quad (2.26)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - [\sum_{i=1}^n x_i][\sum_{i=1}^n y_i]}{n \sum_{i=0}^n x_i^2 - [\sum_{i=0}^n x_i]^2} \quad (2.27)$$

Sedangkan untuk mengetahui ketidakpastian (uncertainty) dapat digunakan persamaan berikut (Darmayanto, 2004).

$$U = \sqrt{\frac{SSR}{V}} \quad (2.28)$$

$$U = \sqrt{\frac{SSR}{(n-Var)}} \quad (2.29)$$

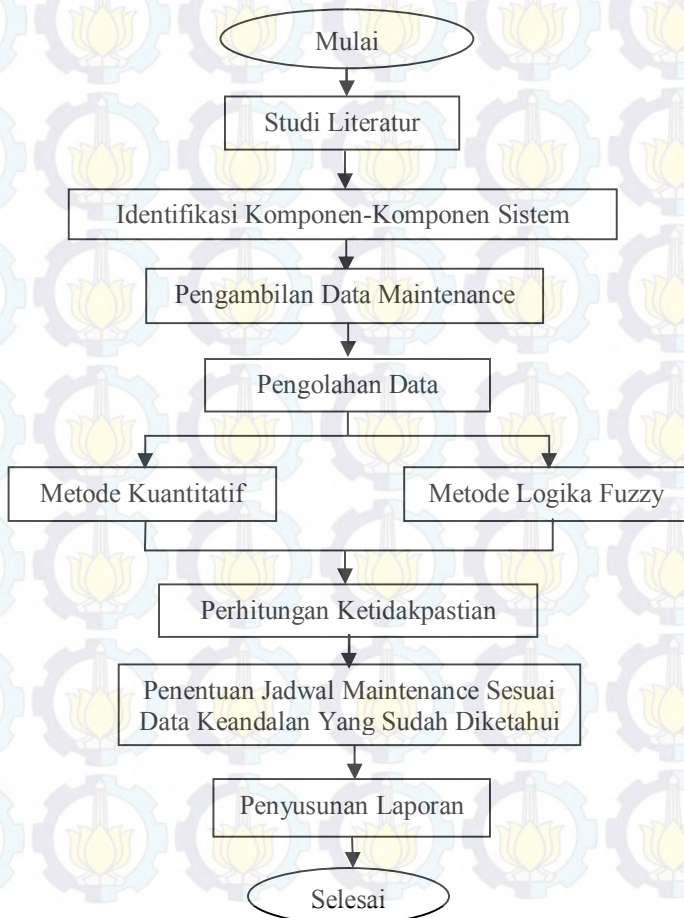
Di mana:

- SSR adalah *Sum of Squared Residual*, atau bisa ditunjukkan dengan persamaan (2.23) berikut ini.
- V adalah derajat kebebasan
- n adalah jumlah pengukuran yang dilakukan
- Var adalah jumlah variabel yang terdapat pada persamaan regresi

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada bab ini dijelaskan beberapa tahapan penelitian yang ditunjukkan pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literature

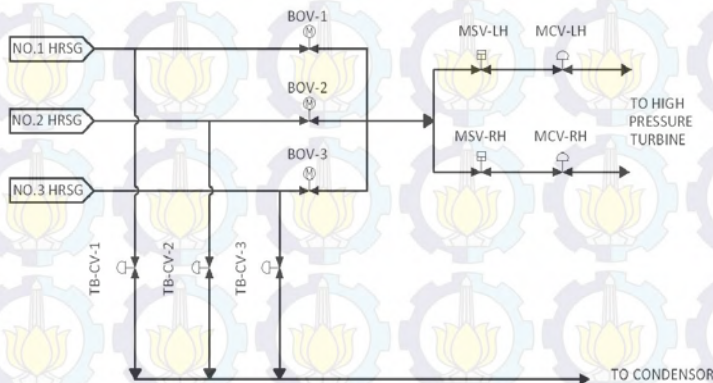
Mencari dan mempelajari berbagai literatur seperti buku, jurnal, internet dan para pakar untuk bisa mendapatkan informasi maupun data – data yang diinginkan berkaitan dengan data maintenance dan perhitungan untuk menentukan nilai keandalan suatu sistem

3.3 Identifikasi Komponen

Sebelum melaksanakan analisa diperlukan identifikasi komponen – komponen pada sistem dengan membaca manual book dan Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)

3.4 Pengambilan Data

Dalam proses pengumpulan data dan informasi data yang di perlukan adalah berupa data maintenance (work order), dimana data tersebut didapatkan dari pihak departemen pemeliharaan dengan range data dari tahun 2001 - 2014. Dari data tersebut dapat diketahui komponen yang sering mengalami kegagalan pada sistem. Komponen yang sering mengalami kegagalan ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 3.2 Skema Komponen Yang Sering Mengalami Kerusakan

3.5 Pengolahan Dan Analisis Data

Berdasarkan data yang telah diperoleh kemudian data diolah dan dilakukan perhitungan nilai *reliability*, *maintainability*, dan *availability* untuk masing-masing metode. Pada penelitian ini setiap komponen dilakukan perhitungan nilai *reliability* untuk waktu operasi 1 tahun atau setara 8760 jam, *maintainability* untuk waktu perbaikan hingga 600 jam, dan *availability* dengan waktu maksimal 1 tahun atau setara 8760 jam. Setelah itu akan dilakukan perbandingan antara kedua metode tersebut. Perbandingan dilakukan pada nilai *reliability*, *maintainability*, dan *availability*. Berikut adalah tahap - tahap pengolahan data dengan metode kuantitatif dan metode logika fuzzy

1. Tahapan Pengolahan Dan Analisis Data Metode Kuantitatif

Analisis data menggunakan metode kuantitatif meliputi hal-hal sebagai berikut:

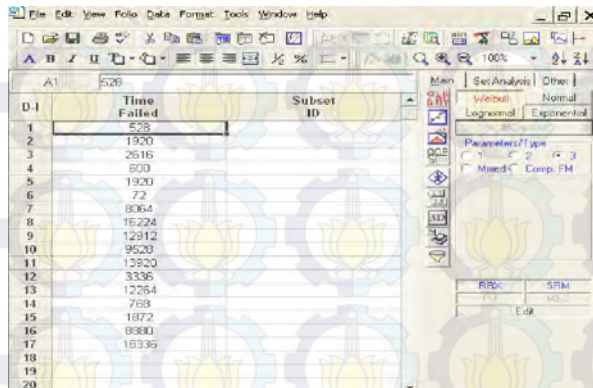
- **Penentuan *Time To Failure***

Dalam penentuan *Time To Failure* (TTF) digunakan data waktu kegagalan yang diperoleh dari data *record maintenance* dari tahun 2001-2014.

- **Penentuan Distribusi *Time To Failure***

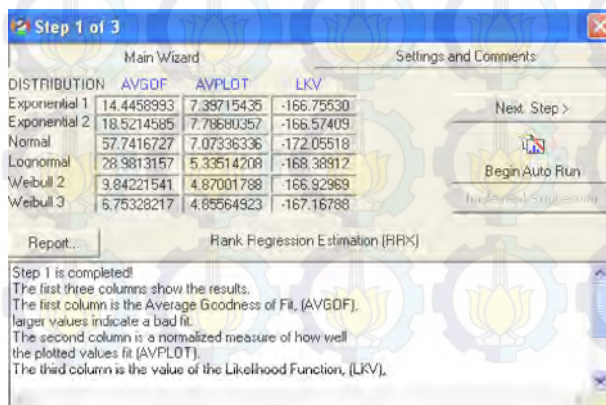
Penentuan distribusi *Time To Failure* berfungsi untuk mendapatkan distribusi yang terbaik dari data *Time To Failure* yang telah diperoleh sebelumnya. Penentuan distribusi dilakukan dengan menggunakan *software Reliasoft Weibull ++* 6. Berikut adalah tahapan penentuan distribusi *Time To Failure* :

- Memasukkan data *Time To Failure* (TTF) yang akan diuji distribusinya



Gambar 3.3 Pemasukan Data TTF

- Data TTF yang telah dimasukkan, kemudian dilakukan uji distribusi dengan menggunakan toolbox yang ada pada software yaitu *option distribution wizard* untuk mendapatkan parameter uji *average goodness of fit* (AVGOF) yang menunjukkan bahwa semakin besar nilai pada kolom ini menunjukkan hasil distribusi mengenai ketidaksesuaian hasil distribusi.



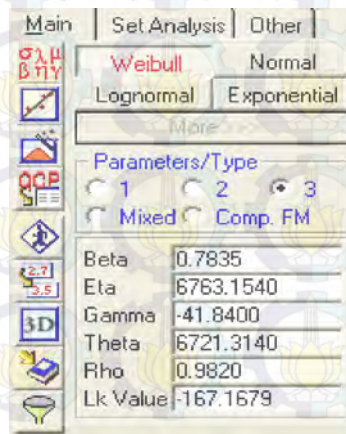
Gambar 3.4 Pengujian Distribusi TTF

- Tahap terakhir adalah *implement suggestion* yang menunjukkan parameter distribusi terbaik dari data yang diuji, dimana distribusi terbaik akan tertampil dalam bentuk ranking.



Step 3 is completed!
Column 1 presents the ranking of distributions.
You may press <Implement Suggestion>
to implement the top ranking distribution.

Gambar 3.5 Hasil Uji Distribusi



Gambar 3.6 Hasil Parameter Distribusi

- **Evaluasi *Reliability***

Dari parameter distribusi yang diperoleh dari hasil uji distribusi maka dapat dilakukan perhitungan nilai *reliability* dengan memasukan parameter distribusi kedalam persamaan yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Hasil perhitungan kemudian diplot ke dalam sebuah grafik nilai *reliability* terhadap waktu operasional

- **Penentuan *Time To Repair***

Dalam penentuan *Time To Repair* (TTR) digunakan data waktu perbaikan yang diperlukan untuk melakukan perbaikan komponen yang mengalami kerusakan. Data TTR diperoleh dari data *record maintenance* dari tahun 2001-2014.

- **Penentuan Distribusi *Time To Repair***

Penentuan distribusi *Time To Repair* (TTR) berfungsi untuk mendapatkan distribusi yang terbaik dari data *Time To Repair* yang telah diperoleh sebelumnya. Penentuan distribusi dilakukan dengan menggunakan *software Reliasoft Weibull ++* 6. Tahapan penentuan distribusi *Time To Repair* sama dengan penentuan distribusi *Time To Failure*

- **Evaluasi *Maintainability***

Dari parameter distribusi yang diperoleh dari hasil uji distribusi maka dapat dilakukan perhitungan nilai *maintainability* dengan memasukan parameter distribusi kedalam persamaan yang telah dibahas pada bab sebelumnya

- **Evaluasi *Availability***

Dari parameter distribusi yang diperoleh dari hasil uji distribusi maka dapat dilakukan perhitungan nilai *availability* dengan memasukan parameter distribusi kedalam persamaan yang telah dibahas pada bab sebelumnya.

2. Tahapan Pengolahan Dan Analisis Data Metode Logika Fuzzy

Tahapan analisis menggunakan metode logika fuzzy meliputi hal-hal sebagai berikut :

- **Mendefinisikan Karakteristik Model Secara Fungsional dan Operasional**

Dalam menyusun logika fuzzy diperlukan data input dan output, dimana data tersebut merepresentasikan karakteristik dari model. Logika fuzzy akan digunakan untuk mencari nilai *reliability*, *maintainability*, dan *availability* yang dibuat berdasarkan data MTTF, MTTR dan waktu. Data MTTF dan MTTR merupakan data lapangan yang diperoleh dari rata-rata *time to failure* (TTF) dan juga rata-rata *time to repair* (TTR) setiap komponen. Untuk nilai MTTF dan MTTR tiap komponen yang akan dianalisis ditunjukkan pada Lampiran B

Berdasarkan data nilai MTTF dan MTTR tiap komponen yang diketahui, maka dapat dilakukan range data. Range data yang digunakan dimulai dengan nilai terendah yaitu 0 hingga nilai tertinggi dari seluruh komponen. Setelah itu, dapat ditentukan karakteristik input-output pada logika fuzzy yang akan digunakan untuk mencari nilai *reliability*, *maintainability*, dan *availability* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Karakterisasi Model Logika Fuzzy

Fungsi	Range Input			Range Output
	MTTF (Jam)	MTTR (Jam)	Waktu (Jam)	
<i>Reliability</i>	0-18000	-	0-9000	0-1
<i>Maintainability</i>	-	0-180	0-600	0-1
<i>Availability</i>	0-18000	0-180	0-9000	0-1

Karakteristik fungsi *reliability* didefinisikan menggunakan range data MTTF 0-18000 karena berdasarkan nilai MTTF

dari tabel nilai MTTF dan MTTR tiap komponen diketahui bahwa nilai terbesar adalah 17728 jam, sehingga nilai 18000 jam merupakan nilai pendekatan dari nilai terbesar yaitu 17728 jam. Untuk range waktu digunakan range 0-9000 jam. nilai 9000 jam merupakan pendekatan dari nilai waktu operasional selama 1 tahun atau setara 8760 jam. Sedangkan untuk nilai range output untuk fungsi *reliability* adalah 0-1. Nilai 0-1 merupakan nilai yang mewakili persentase 0% - 100%.

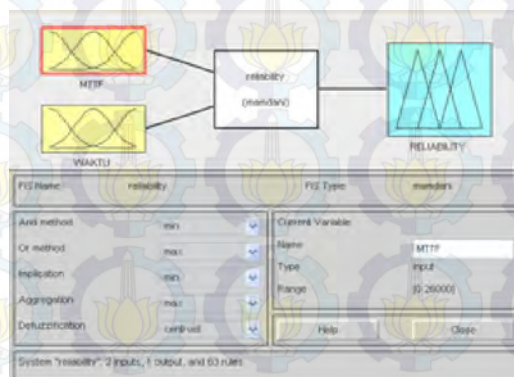
Untuk nilai karakteristik fungsi *maintainability* didefinisikan menggunakan range data MTTR 0-180 jam karena dari data penghitungan MTTR diperoleh data MTTR paling besar yaitu 176.41 maka range data yang digunakan menggunakan pendekatan dari range 0-180 jam. Sedangkan range waktu yang digunakan adalah range 0-600 yang merupakan pendekatan dari range waktu selama 2 bulan dengan dengan maksimum perawatan dalam waktu 1 hari adalah 9 jam yaitu 540 jam. Penggunaan waktu ini untuk menunjukkan fungsi *maintainability* terhadap waktu perawatan komponen selama 2 bulan sebagai target maksimum kewajaran perawatan suatu komponen di PJB Gresik. Penggunaan range output untuk fungsi *maintainability* adalah 0-1. Range 0-1 digunakan karena nilai maksimum dari suatu *maintainability* adalah 1 yang dapat mewakili persentase 0 % hingga persentase 100%

Dalam mendefinisikan nilai karakteristik fungsi *availability* digunakan range waktu MTTF 0-18000 karena dari data penghitungan MTTF diperoleh data MTTF paling besar yaitu 17728 maka range data yang digunakan menggunakan pendekatan dari range 0-18000 jam. Range waktu MTTR 0-180 karena dari data penghitungan MTTR diperoleh data MTTR paling besar yaitu 176.41 maka range data yang digunakan menggunakan pendekatan dari range 0-180 jam. Sedangkan range waktu yang digunakan adalah range 0-9000 yang merupakan pendekatan dari range waktu selama

1 tahun yaitu 8760 jam. Penggunaan waktu ini untuk menunjukkan kapan waktu suatu item dapat tersedia untuk digunakan dalam proses penggantian item atau perawatan dari komponen sistem pembakaran dengan target maksimum kewajaran selama 1 tahun di PJB Gresik. Penggunaan range output untuk fungsi *availability* adalah 0-1. Range 0-1 digunakan karena nilai maksimum dari suatu *availability* adalah 1 yang dapat mewakili persentase 0 % hingga persentase 100%.

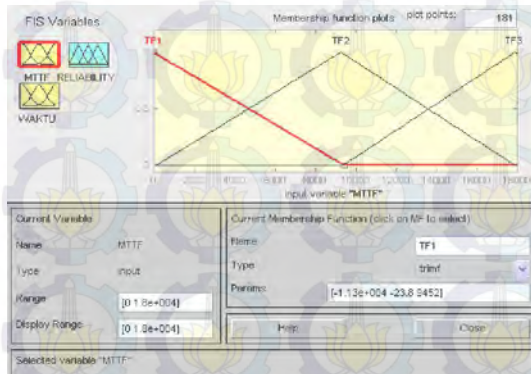
- **Melakukan Dekomposisi Variabel Model Menjadi Himpunan Fuzzy**

Dari karakterisasi variabel input-output diatas maka dapat dibentuk himpunan-himpunan fuzzy yang berkaitan. Untuk mencari nilai *reliability* menggunakan logika fuzzy digunakan 3 himpunan fuzzy, dimana terdiri dari 2 himpunan fuzzy yaitu himpunan MTTF, himpunan waktu sebagai input fuzzy dan juga 1 himpunan fuzzy yaitu himpunan *reliability* sebagai output fuzzy. Nilai *reliability* suatu komponen akan semakin berkurang seiring berkurangnya nilai MTTF dan seiring berjalannya waktu operasi komponen.



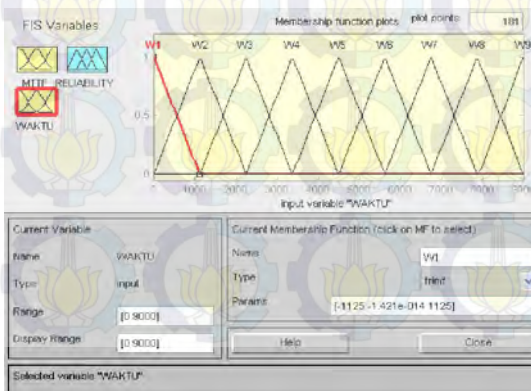
Gambar 3.7 Desain Input Output Pada FIS Editor

Berikut merupakan fungsi keanggotaan untuk variabel MTTF menggunakan 7 fungsi keanggotaan yaitu Time Failure 1 (TF1), Time Failure 2 (TF2), Time Failure 3 (TF3).



Gambar 3.8 Himpunan MTTF

Fungsi keanggotaan untuk variabel Waktu menggunakan 9 fungsi keanggotaan yaitu Waktu 1 (W1), Waktu 2 (W2), Waktu 3 (W3), Waktu 4 (W4), Waktu 5 (W5), Waktu 6 (W6), Waktu 7 (W7), Waktu 8 (W8), Waktu 9 (W9).



Gambar 3.9 Himpunan Waktu

Fungsi keanggotaan untuk variabel reliability menggunakan 14 fungsi keanggotaan yaitu Reliability 1 (R1), Reliability 2 (R2), Reliability 3 (R3), Reliability 4 (R4), Reliability 5 (R5), Reliability 6 (R6), Reliability 7 (R7), Reliability 8 (R8), Reliability 9 (R9), Reliability 10 (R10), Reliability 11 (R11), Reliability 12 (R12), Reliability 13 (R13), Reliability 14 (R14).



Gambar 3.10 Himpunan *Reliability*

Untuk mencari nilai *maintainability* menggunakan logika fuzzy digunakan 3 himpunan fuzzy, dimana terdiri dari 2 himpunan fuzzy yaitu himpunan MTTR, himpunan sebagai input fuzzy dan juga 1 himpunan fuzzy yaitu himpunan *maintainability* sebagai output fuzzy. Nilai *maintainability* suatu komponen dipengaruhi oleh seiring bertambahnya nilai MTTR dan seiring berjalannya waktu perawatan komponen.

Untuk mencari nilai *Availability* menggunakan logika fuzzy digunakan 4 himpunan fuzzy, dimana terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu himpunan MTTF, himpunan MTTR, himpunan waktu sebagai input fuzzy dan juga 1 himpunan fuzzy yaitu himpunan *Availability* sebagai output fuzzy. Nilai *Availability* suatu komponen

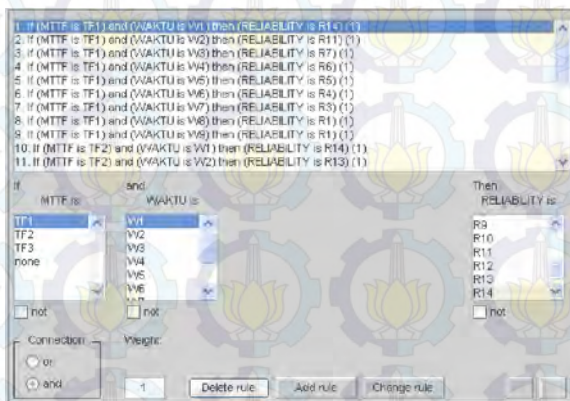
dipengaruhi oleh seiring bertambahnya nilai MTTR, himpunan MTTF dan seiring berjalannya waktu perawatan komponen.

- **Membuat Aturan Fuzzy**

Aturan fuzzy merupakan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas daerah masukan dan keluaran. Aturan pada suatu model fuzzy menunjukkan bagaimana sistem beroperasi. Setelah membuat basis aturan nilai reliability kemudian basis tersebut dimasukkan ke dalam FIS editor dalam bentuk *jika...maka (If...Then)*.

Tabel 3.2 Aturan Fuzzy Nilai Reliability

MTTF/W	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9
TF1	R14	R11	R7	R6	R5	R4	R3	R1	R1
TF2	R14	R13	R10	R9	R8	R7	R6	R5	R4
TF3	R14	R14	R14	R13	R13	R13	R13	R12	R11



Gambar 3.11 Aturan Fuzzy

Dengan memasukkan data aturan fuzzy seperti tabel diatas pada FIS editor, maka logika fuzzy telah dibuat untuk

dapat mengolah input yang telah dibuat sesuai logika yang sudah dibuat dan akan diperoleh output berupa nilai *reliability*

- **Menentukan Metode Defuzzifikasi Untuk Tiap-Tiap Variabel Solusi**

Defuzzifikasi berfungsi mengubah besaran fuzzy yang disajikan dalam bentuk himpunan - himpunan fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk data crisp (nilai sebenarnya/ nilai tegas).

- **Menjalankan Simulasi Sistem**

Mensimulasikan sistem untuk memperoleh nilai output yang berupa nilai *reliability*



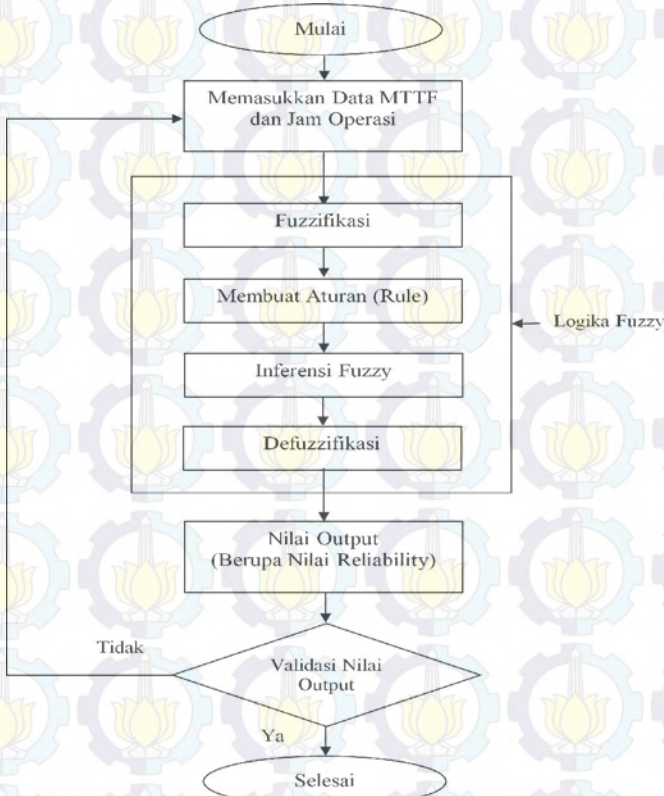
Gambar 3.12 Basis Aturan Reliability Pada Rule Editor

Dari gambar 3.10 dapat dilihat nilai *reliability* dapat diperoleh dengan mengetikkan nilai input berupa nilai MTTF dan Waktu pada kolom “Input”.

- **Validasi Nilai Output**

Dari program simulasi yang dibentuk, diujikan untuk beberapa nilai input untuk mendapatkan kebenaran nilai output

dan validasi output. Apabila hasil yang diperoleh selama pengujian kurang sesuai yang diharapkan. Maka diulangi lagi proses dekomposisi variabel ke himpunan fuzzy. Sebaliknya, jika nilai yang diperoleh sudah sesuai yang diharapkan, maka logika fuzzy dapat digunakan untuk mencari nilai *reliability*.



Gambar 3.13 Diagram Alir Logika Fuzzy

3.6 Perhitungan Ketidakpastian

Perhitungan ketidakpastian (*uncertainty*) dilakukan untuk mengetahui hubungan antara pengaruh nilai *reliability* metode kuantitatif terhadap nilai *reliability* metode logika fuzzy. Metode yang digunakan adalah metode regresi linear, dimana yang akan menjadi variabel terikat (y_i) adalah nilai *reliability* metode logika fuzzy. Sedangkan yang menjadi variabel bebas (x_i) adalah nilai *reliability* metode kuantitatif dengan distribusi yang berbeda, yaitu distribusi weibull-2, distribusi weibull-3, distribusi normal, dan distribusi lognormal.

3.7 Penentuan Jadwal *Maintenance*

Setelah dilakukan analisis *reliability* maka dapat dilakukan penjadwalan *maintenance* berdasarkan nilai *reliability* yang telah diketahui dengan menggunakan logika fuzzy. Hal tersebut bertujuan agar masing – masing komponen memiliki nilai *reliability* minimal 0,8. Berdasarkan hasil *reliability* diperoleh, waktu ketika nilai *reliability* sebesar 0,8 maka dianjurkan untuk melakukan perawatan rutin.



-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Menggunakan Metode Kuantitatif

Dari data maintenance yang diperoleh, maka dapat dilakukan pencarian nilai parameter distribusi yang paling sesuai dari data *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR). Nilai parameter distribusi tersebut nantinya digunakan untuk mencari nilai *reliability*, *maintainability*, *availability*.

4.1.1 Analisis Kuantitatif *Boiler Outlet Valve* – 1

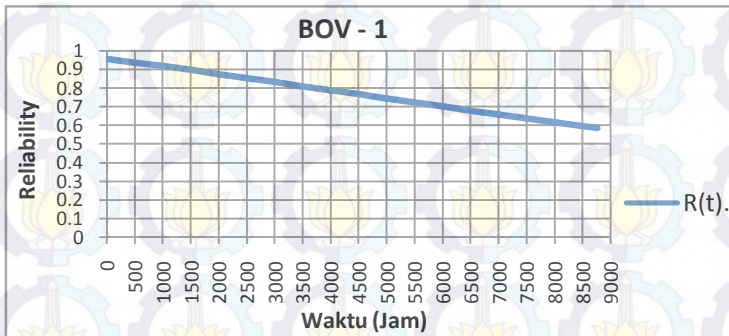
Berdasarkan data maintenance, maka diperoleh nilai TTF dari *Boiler Outlet Valve* – 1 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. *Boiler Outlet Valve* – 1

<i>Boiler Outlet Valve - 1 (BOV-1)</i>					
<i>Raise Date</i>	<i>Closed Date</i>	TTF (Hari)	TTR (Hari)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
10-Apr-01	16-Apr-01				
23-Jan-02	30-Jan-02	282	7	6768	63
19-Mar-03	3-Apr-03	413	15	9912	135
21-Apr-05	5-May-05	749	14	17976	126
15-Jun-05	16-Jun-05	41	1	984	9
20-Sep-05	3-Oct-05	96	13	2304	117
12-Feb-07	14-Feb-07	497	2	11928	18
9-Nov-08	12-Nov-08	634	3	15216	27
4-Jan-11	7-Jan-11	783	3	18792	27
1-Nov-14	4-Nov-14	1394	3	33456	27
<i>Average</i>				13037	61

Dari data TTF yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan *software* weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *reliability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi weibull-3 dengan parameter beta (β) = 1.295, eta (η) = 16695 dan

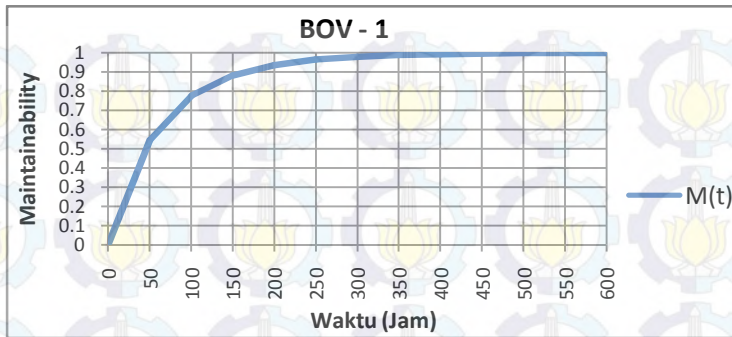
gamma (γ) = -1484.84. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *reliability* terhadap waktu operasional.



Gambar 4.1. Grafik *Reliability* BOV-1

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *reliability* mengalami penurunan hingga pada nilai 0.587 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). hal tersebut diakibatkan oleh lamanya waktu operasi, sehingga menyebabkan laju kegagalan $\lambda(t)$ mengalami peningkatan dan nilai *reliability* mengalami penurunan. Untuk mengurangi peluang terjadinya kegagalan maka diperlukan perawatan rutin sehingga dapat meningkatkan efektifitas kerja komponen tersebut.

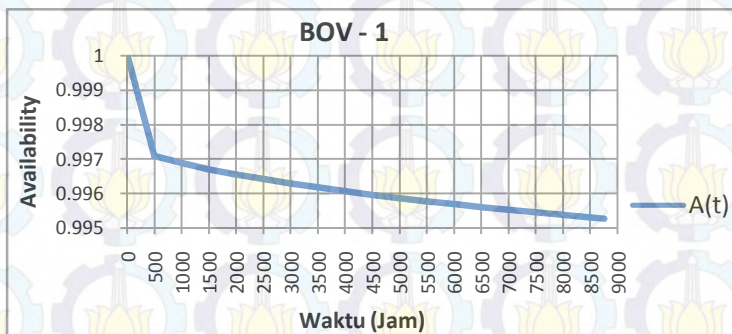
Untuk mencari nilai *maintainability*, data TTR yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *maintainability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi Weibull-3 dengan parameter beta (β) = 0.8331 eta (η) = 57.8834 dan gamma (γ) = 6.3325. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *maintainability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.2. Grafik *Maintainability* BOV-1

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa komponen BOV-1 dalam interval 600 jam memiliki nilai *maintainability* sebesar 0.99905 (99.9%). Ini menunjukkan bahwa komponen tersebut bisa dikembalikan kemampuannya sebesar 99.9% setelah diperbaiki selama 600 jam.

Untuk mencari nilai *availability*, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *availability* terhadap waktu operasional.



Gambar 4.3. Grafik *Availability* BOV-1

Berdasarkan grafik diatas diketahui nilai *availability* mengalami penurunan hingga nilai terkecil sebesar 0.995267 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen ini memiliki *availability* yang baik, dimana komponen cadangan tersedia dengan baik ketika komponen tersebut mengalami kerusakan

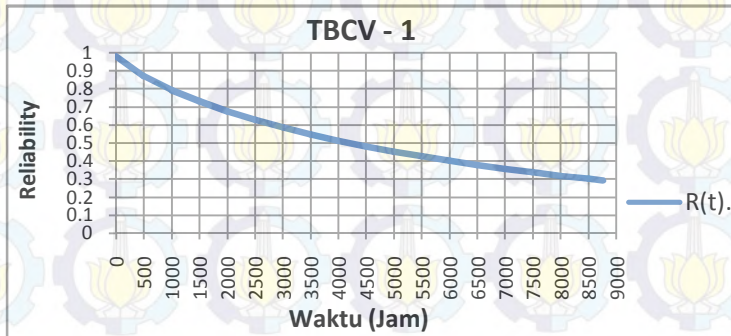
4.1.2 Analisis Kuantitatif Turbin Bypass Control Valve – 1

Berdasarkan data maintenance, maka diperoleh nilai TTF dari Turbin Bypass Control Valve – 1 (TBCV-1) adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2. Turbin Bypass Control Valve -1

<i>Turbin Bypass Control Valve -1 (TBCV-1)</i>					
<i>Raise Date</i>	<i>Closed Date</i>	TTF (Hari)	TTR (Hari)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
3-Jan-01	2-Mar-01				
24-Mar-01	3-Apr-01	22	10	528	90
22-Jun-01	24-Jun-01	80	2	1920	18
11-Oct-01	16-Oct-01	109	5	2616	45
10-Nov-01	11-Dec-01	25	31	600	279
1-Mar-02	2-Mar-02	80	1	1920	9
5-Mar-02	17-Apr-02	3	43	72	387
19-Mar-03	1-May-03	336	43	8064	387
7-Mar-05	15-Mar-05	676	8	16224	72
4-Sep-06	20-Sep-06	538	16	12912	144
22-Oct-07	23-Oct-07	397	1	9528	9
25-May-09	26-May-09	580	1	13920	9
12-Oct-09	26-Oct-09	139	14	3336	126
21-Mar-11	24-Mar-11	511	3	12264	27
25-Apr-11	27-Apr-11	32	2	768	18
14-Jul-11	23-Aug-11	78	40	1872	360
27-Aug-12	5-Sep-12	370	9	8880	81
9-Oct-14	11-Oct-14	764	2	18336	18
<i>Average</i>				6691	122

Dari data TTF yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *reliability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi weibull-3 dengan parameter beta (β) = 0.7835, eta (η) = 6763.154 dan gamma (γ) = -41.84. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *reliability* terhadap waktu operasional.

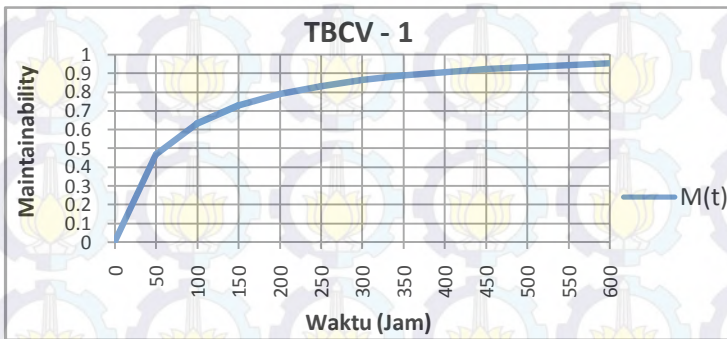


Gambar 4.4 Grafik *Reliability* TBCV-1

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *reliability* mengalami penurunan hingga pada nilai 0.29 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen tersebut memiliki peluang terjadinya kegagalan yang besar. hal tersebut diakibatkan oleh lamanya waktu operasi, sehingga menyebabkan laju kegagalan $\lambda(t)$ mengalami peningkatan dan nilai *reliability* mengalami penurunan. Untuk mengurangi peluang terjadinya kegagalan maka diperlukan perawatan rutin sehingga dapat meningkatkan efektifitas kerja komponen tersebut.

Untuk mencari nilai *maintainability*, data TTR yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter

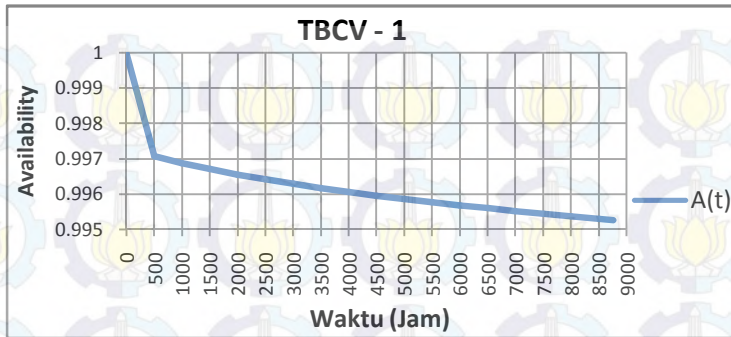
distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *maintainability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi weibull-3 dengan parameter beta (β) = 0.5987, eta (η) = 92.1579 dan gamma (γ) = 7.165.. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *maintainability* terhadap waktu perbaikan.



Grafik 4.5. Grafik *Maintainability* TBCV-1

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa komponen tersebut dalam interval 600 jam memiliki nilai *maintainability* sebesar 0.952 (95.2%). Ini menunjukkan bahwa komponen tersebut bisa dikembalikan kemampuannya sebesar 95.2% setelah diperbaiki selama 600 jam

Untuk mencari nilai *availability*, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *availability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.6. Grafik *Availability* TBCV-1

Berdasarkan grafik diatas diketahui nilai *availability* mengalami penurunan hingga nilai terkecil sebesar 0.984 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen ini memiliki *availability* yang baik, dimana komponen cadangan tersedia dengan baik ketika komponen tersebut mengalami kerusakan

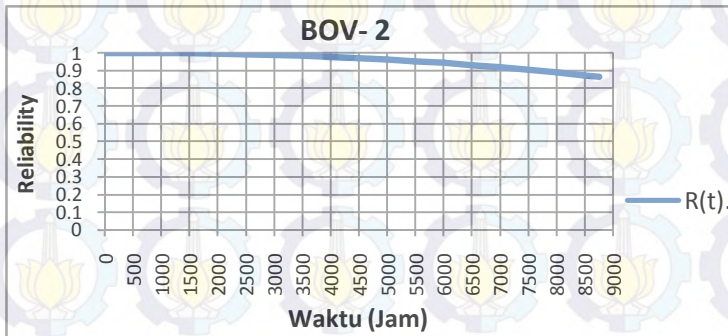
4.1.3 Analisis Kuantitatif Boiler Outlet Valve – 2

Berdasarkan data maintenance, maka diperoleh nilai TTF dari Boiler Outlet Valve – 2 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3. Boiler Outlet Valve – 2

Boiler Outlet Valve - 2 (BOV-2)					
Raise Date	Closed Date	TTF (Hari)	TTR (Hari)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
22-Sep-01	28-Sep-01				
19-Mar-03	1-May-03	537	43	12888	387
18-May-04	27-May-04	383	9	9192	81
17-Mar-06	20-Apr-06	659	34	15816	306
6-Sep-07	10-Sep-07	504	4	12096	36
7-Sep-09	17-Sep-09	728	10	17472	90
24-Feb-14	27-Feb-14	1621	3	38904	27
Average				17728	154

Dari data TTF yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *reliability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi normal Weibull-2 dengan parameter beta (β)= 2.4039 dan eta (η) = 19431. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *reliability* terhadap waktu operasional.

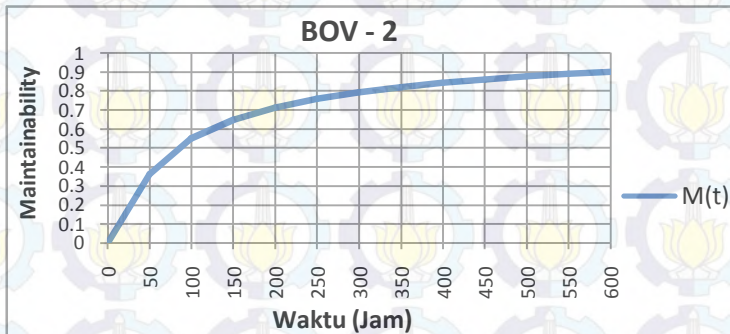


Gambar 4.7. Grafik *Reliability* BOV-2

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *reliability* mengalami penurunan hingga pada nilai 0.86 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut dapat dikatakan masih baik dan menunjukkan bahwa peluang kegagalan dalam interval waktu 1 tahun operasi pada komponen tesebut sangat kecil terjadi. Untuk mengurangi peluang terjadinya kegagalan maka diperlukan perawatan rutin sehingga dapat meningkatkan efektifitas kerja komponen tersebut.

Untuk mencari nilai *maintainability*, data TTR yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter

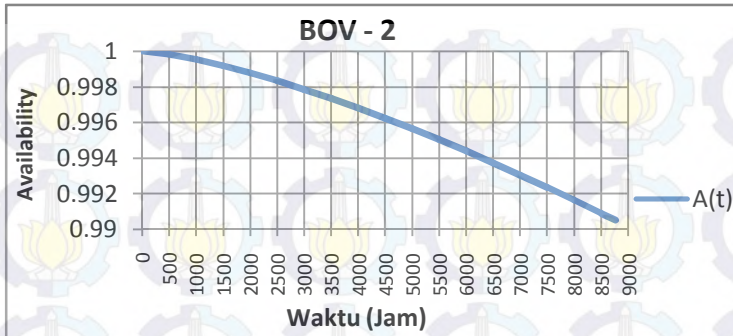
distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *maintainability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi Weibull-3 dengan parameter beta (β)= 2.4039, eta (η) = 19431 dan gamma (γ) = 25.1425. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *maintainability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.8. Grafik *Maintainability* BOV-2

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa komponen tersebut dalam interval 600 jam memiliki nilai *maintainability* sebesar 0.901 (90.1%) Ini menunjukkan bahwa komponen tersebut bisa dikembalikan kemampuannya sebesar 90.1% setelah diperbaiki selama 600 jam.

Untuk mencari nilai *availability*, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *availability* terhadap waktu operasional.



Gambar 4.9 Grafik *Availability* BOV-2

Berdasarkan grafik diatas diketahui nilai *availability* mengalami penurunan hingga nilai terkecil sebesar 0.990505 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen ini memiliki *availability* yang baik, dimana komponen cadangan tersedia dengan baik ketika komponen tersebut mengalami kerusakan

4.1.4 Analisis Kuantitatif Turbin Bypass Control Valve – 2

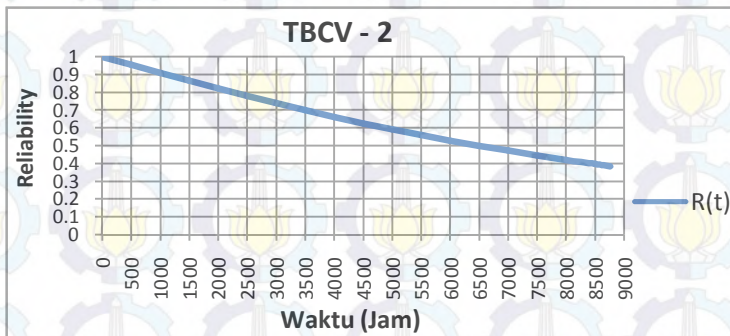
Berdasarkan data maintenance, maka diperoleh nilai TTF dari Turbin bypass control valve – 2 (TBCV-2) adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4. Turbin Bypass Control Valve -2

Turbin Bypass Control Valve -2 (TBCV-2)					
Raise Date	Closed Date	TTF (Hari)	TTR (Hari)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
3-Jan-01	6-Jan-01				
7-Apr-01	8-Apr-01	91	1	2184	9
10-Nov-01	11-Dec-01	216	31	5184	279
19-Mar-03	1-May-03	463	43	11112	387
3-Dec-03	12-Dec-03	216	9	5184	81
18-Jul-05	21-Jul-05	584	3	14016	27
11-Sep-06	17-Sep-06	417	6	10008	54
20-Mar-07	27-Mar-07	184	7	4416	63
24-Jul-08	24-Jul-08	485	0	11640	9

<i>Raise Date</i>	<i>Closed Date</i>	TTF (Hari)	TTR (Hari)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
3-Nov-09	10-Dec-09	160	37	3840	333
15-Dec-09	20-Dec-09	5	5	120	45
11-Oct-10	12-Oct-10	295	1	7080	9
8-Sep-11	8-Sep-11	331	0	7944	9
16-Jul-12	20-Jul-12	312	4	7488	36
10-Nov-14	14-Nov-14	843	4	20232	36
<i>Average</i>				7851	93

Dari data TTF yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *reliability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi weibull-2 dengan parameter beta (β) = 1.0691 dan eta (η) = 9131.1569. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *reliability* terhadap waktu operasional.

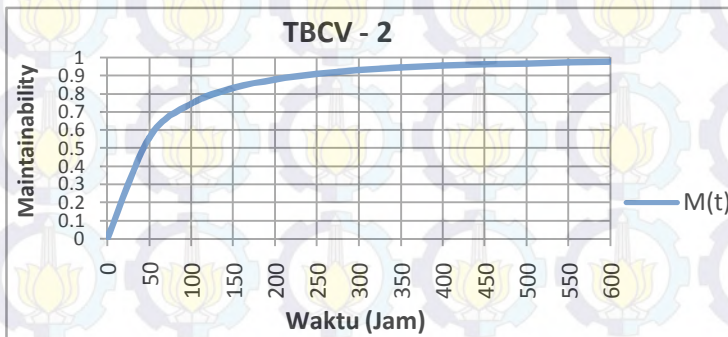


Gambar 4.10. Grafik *Reliability* TBCV-2

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *reliability* mengalami penurunan hingga pada nilai 0.384195

dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen tersebut memiliki peluang terjadinya kegagalan yang besar. hal tersebut diakibatkan oleh lamanya waktu operasi, sehingga menyebabkan laju kegagalan $\lambda(t)$ mengalami peningkatan dan nilai *reliability* mengalami penurunan. Untuk mengurangi peluang terjadinya kegagalan maka diperlukan perawatan rutin sehingga dapat meningkatkan efektifitas kerja komponen tersebut.

Untuk mencari nilai *maintainability*, data TTR yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *maintainability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi lognormal dengan parameter mean (μ) = 3.7249 dan standart deviasi (σ) = 1.3387. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *maintainability* terhadap waktu perbaikan.

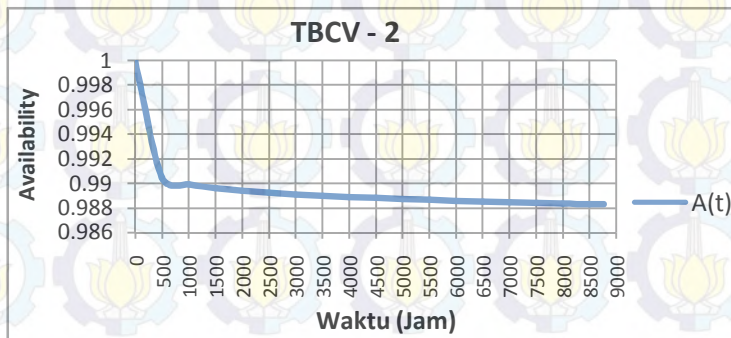


Gambar 4.11. Grafik *Maintainability* TBCV-2

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa komponen tersebut dalam interval 600 jam memiliki nilai *maintainability* sebesar 0.977 (97.7%) Ini menunjukkan bahwa komponen

tersebut bisa dikembalikan kemampuannya sebesar 97.7% setelah diperbaiki selama 600 jam

Untuk mencari nilai *availability*, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *availability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.12. Grafik *Availability* TBCV-2

Berdasarkan grafik diatas diketahui nilai *availability* mengalami penurunan hingga nilai terkecil sebesar 0.988278 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen ini memiliki *availability* yang baik, dimana komponen cadangan tersedia dengan baik ketika komponen tersebut mengalami kerusakan.

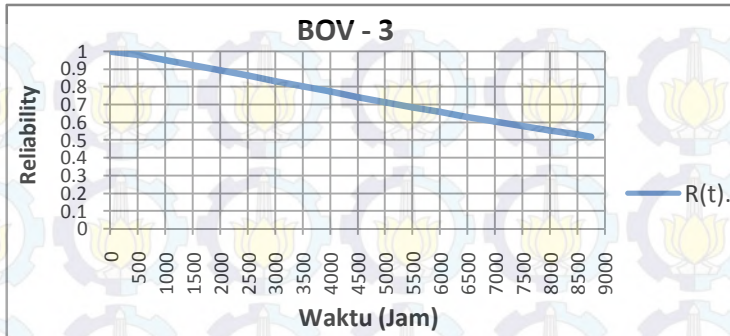
4.1.5 Analisis Kuantitatif Boiler Outlet Valve –3

Berdasarkan data maintenance, maka diperoleh nilai TTF dari Boiler Outlet Valve – 3 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5. *Boiler Outlet Valve – 3*

Boiler Outlet Valve - 3 (BOV-3)					
Raise Date	Closed Date	TTF (Hari)	TTR (Hari)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
14-May-01	15-May-01				
4-Feb-02	15-Feb-02	265	11	6360	99
18-Aug-04	20-Sep-04	915	33	21960	297
28-Feb-06	2-Mar-06	526	2	12624	18
22-Aug-06	26-Aug-06	173	4	4152	36
30-Oct-08	10-Nov-08	796	11	19104	99
14-Oct-09	22-Oct-09	338	8	8112	72
8-Aug-12	14-Aug-12	1021	6	24504	54
23-Oct-12	24-Oct-12	70	1	1680	9
28-Feb-13	28-Feb-13	127	0	3048	9
<i>Average</i>				11282	77

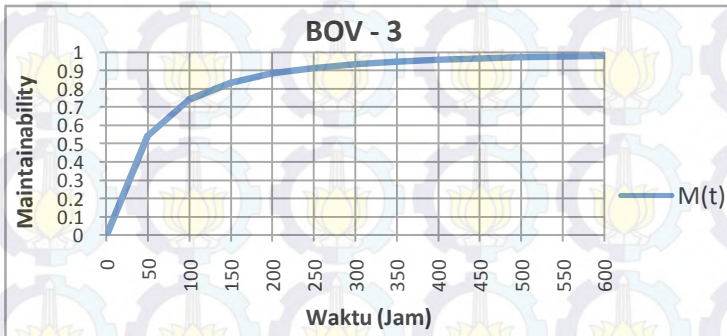
Dari data TTF yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *reliability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi Weibull-2 dengan parameter beta (β) = 1.1919 dan eta (η) = 12456. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *reliability* terhadap waktu operasional.



Gambar 4.13. Grafik *Reliability* BOV-3

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *reliability* mengalami penurunan hingga pada nilai 0.518 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Hal tersebut diakibatkan oleh lamanya waktu operasi, sehingga menyebabkan laju kegagalan $\lambda(t)$ mengalami peningkatan dan nilai *reliability* mengalami penurunan. Untuk mengurangi peluang terjadinya kegagalan maka diperlukan perawatan rutin sehingga dapat meningkatkan efektifitas kerja komponen tersebut.

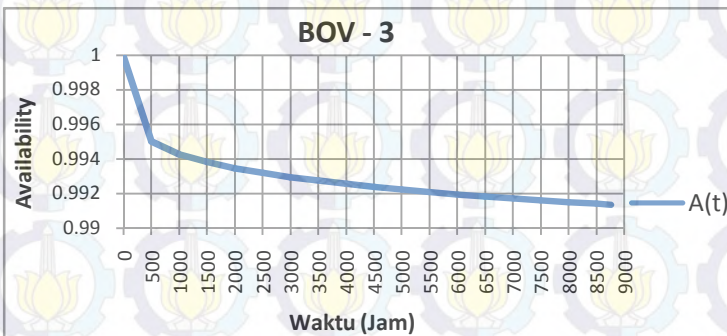
Untuk mencari nilai *maintainability*, data TTR yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *maintainability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi lognormal dengan parameter mean (μ) = 3.7798 dan standart deviasi (σ) = 1.2645. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *maintainability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.14. Grafik *Maintainability* BOV-3

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa komponen tersebut dalam interval 600 jam memiliki nilai *maintainability* sebesar 0.98 (98%) Ini menunjukkan bahwa komponen tersebut bisa dikembalikan kemampuannya sebesar 98% setelah diperbaiki selama 600 jam.

Untuk mencari nilai *availability*, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *availability* terhadap waktu operasional.



Gambar 4.15. Grafik *Availability* BOV-3

Berdasarkan grafik diatas diketahui nilai *availability* mengalami penurunan hingga nilai terkecil sebesar 0.99136 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen ini memiliki *availability* yang baik, dimana komponen cadangan tersedia dengan baik ketika komponen tersebut mengalami kerusakan

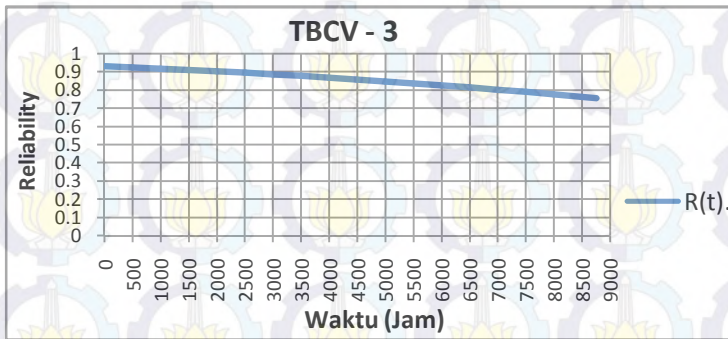
4.1.6 Analisis Kuantitatif Turbin Bypass Control Valve – 3

Berdasarkan data maintenance, maka diperoleh nilai TTF dari Turbin bypass control valve – 3 (TBCV-3) adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6. Turbin Bypass Control Valve - 3

Turbin Bypass Control Valve -3 (TBCV-3)					
Raise Date	Closed Date	TTF (Hari)	TTR (Hari)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
7-Apr-01	8-Apr-01				
28-Dec-02	28-Jan-03	629	31	15096	279
19-Mar-03	1-May-03	50	43	1200	387
6-Mar-06	24-Apr-06	1040	49	24960	441
30-Jun-09	7-Jul-09	1163	7	27912	63
16-Dec-09	20-Dec-09	162	4	3888	36
8-Jun-12	10-Jun-12	901	2	21624	18
18-Sep-14	19-Sep-14	830	1	19920	9
<i>Average</i>				16371	176

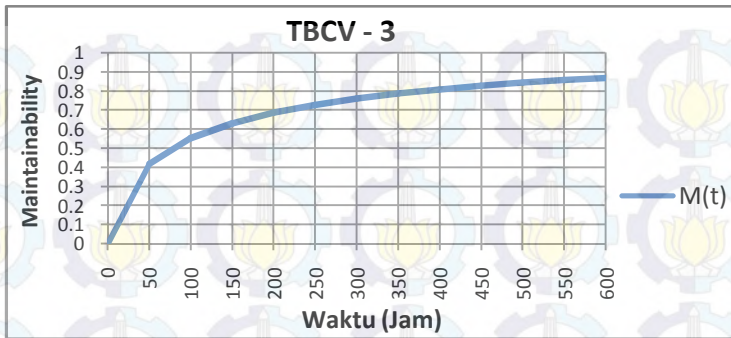
Dari data TTF yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *reliability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi normal dengan parameter mean (μ)= 16371 dan standart deviasi (σ) = 11042. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *reliability* terhadap waktu operasional.



Gambar 4.16. Grafik *Reliability* TBCV-3

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *reliability* mengalami penurunan hingga pada nilai 0.7546 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Hal tersebut diakibatkan oleh lamanya waktu operasi, sehingga menyebabkan laju kegagalan $\lambda(t)$ mengalami peningkatan dan nilai *reliability* mengalami penurunan. Untuk mengurangi peluang terjadinya kegagalan maka diperlukan perawatan rutin sehingga dapat meningkatkan efektifitas kerja komponen tersebut.

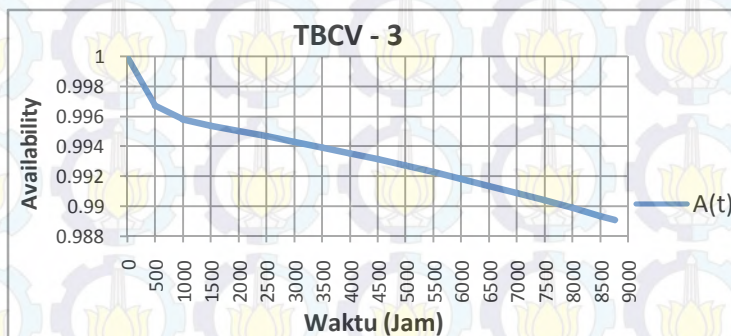
Untuk mencari nilai *maintainability*, data TTR yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *maintainability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi Weibull-3 dengan parameter beta (β) = 0.5013, eta (η) = 143.8916 dan gamma (γ) = 7.57. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *maintainability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.17. Grafik *Maintainability* TBCV-3

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa komponen tersebut dalam interval 600 jam memiliki nilai *maintainability* sebesar 0.869 (86.9%) Ini menunjukkan bahwa komponen tersebut bisa dikembalikan kemampuannya sebesar 99.905% setelah diperbaiki selama 600 jam.

Untuk mencari nilai *availability*, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *availability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.18. Grafik *Avalability* TBCV-3

Berdasarkan grafik diatas diketahui nilai *availability* mengalami penurunan hingga nilai terkecil sebesar 0.989 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen ini memiliki *availability* yang baik, dimana komponen cadangan tersedia dengan baik ketika komponen tersebut mengalami kerusakan

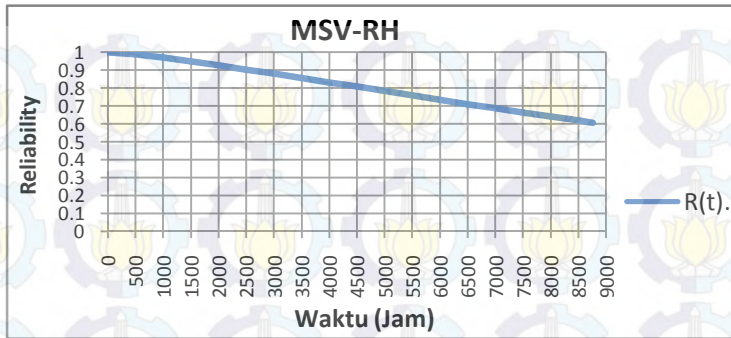
4.1.7 Analisis Kuantitatif *Main Stop Valve – Right Hand*

Berdasarkan data maintenance, maka diperoleh nilai TTF dari *Main Stop Valve – Right Hand* (MSV-RH) adalah sebagai berikut :

Tabel 4.7. *Main Stop Valve – Right Hand*

<i>Main Stop Valve - RH (MSV - RH)</i>					
<i>Raise Date</i>	<i>Closed Date</i>	TTF (Hari)	TTR (Hari)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
28-Jul-01	2-Aug-01				
21-Mar-02	21-Mar-02	231	0	5544	9
23-Oct-05	25-Oct-05	1312	2	31488	18
10-Nov-06	11-Nov-06	381	1	9144	9
4-Aug-08	9-Aug-08	632	5	15168	45
19-Dec-08	30-Jan-09	132	42	3168	378
5-Mar-12	7-Apr-12	1130	33	27120	297
23-Aug-12	2-Sep-12	138	10	3312	90
9-Jun-14	11-Jun-14	645	2	15480	18
<i>Average</i>				13803	108

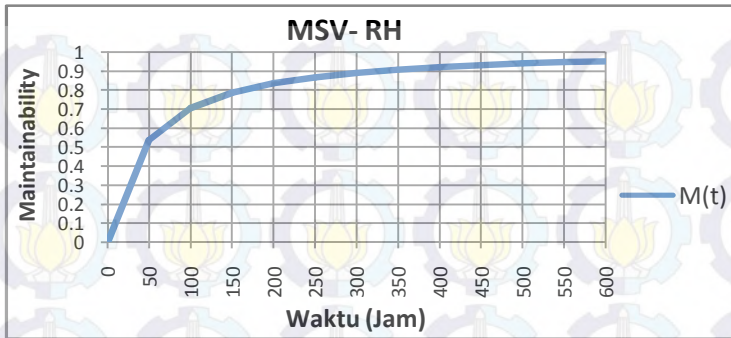
Dari data TTF yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *reliability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi weibull-2 dengan parameter beta (β) = 1.274 dan eta (η) = 15102. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *reliability* terhadap waktu operasional.



Gambar 4.19. Grafik Reliability MSV-RH

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *reliability* mengalami penurunan hingga pada nilai 0.606 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Hal tersebut diakibatkan oleh lamanya waktu operasi, sehingga menyebabkan laju kegagalan $\lambda(t)$ mengalami peningkatan dan nilai *reliability* mengalami penurunan. Untuk mengurangi peluang terjadinya kegagalan maka diperlukan perawatan rutin sehingga dapat meningkatkan efektifitas kerja komponen tersebut.

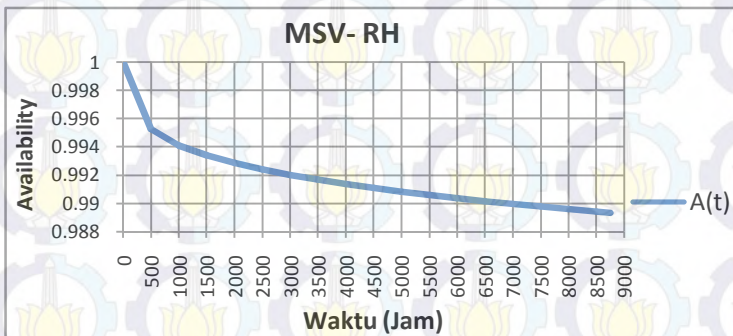
Untuk mencari nilai *maintainability*, data TTR yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *maintainability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi lognormal dengan parameter mean (μ) = 3.7638 dan std (σ) = 1.5722. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *maintainability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.20. Grafik *Maintainability* MSV-RH

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa komponen tersebut dalam interval 600 jam memiliki nilai *maintainability* sebesar 0.953 (95.3%) Ini menunjukkan bahwa komponen tersebut bisa dikembalikan kemampuannya sebesar 95.3% setelah diperbaiki selama 600 jam

Untuk mencari nilai *availability*, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *availability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.21 Grafik *Avalability* MSV-RH

Berdasarkan grafik diatas diketahui nilai *availability* mengalami penurunan hingga nilai terkecil sebesar 0.989 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen ini memiliki *availability* yang baik, dimana komponen cadangan tersedia dengan baik ketika komponen tersebut mengalami kerusakan

4.1.8 Analisis Kuantitatif *Main Control Valve – Right Hand*

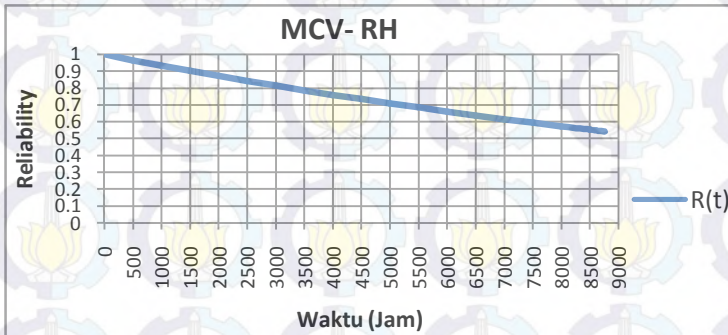
Berdasarkan data maintenance, maka diperoleh nilai TTF dari *Main Control Valve – Right Hand* (MCV-RH) adalah sebagai berikut :

Tabel 4.8. *Main Control Valve – Right Hand*

<i>Main Control Valve - RH (MCV - RH)</i>					
<i>Raise Date</i>	<i>Closed Date</i>	TTF (Hari)	TTR (Hari)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
4-Apr-01	9-Apr-01				
14-Mar-02	2-Apr-02	339	19	8136	171
18-Mar-03	27-Mar-03	350	9	8400	81
16-Jun-05	30-Jun-05	812	14	19488	126
16-Jan-06	27-Jan-06	200	11	4800	99
13-Mar-06	14-Mar-06	45	1	1080	9
5-Mar-07	14-Mar-07	356	9	8544	81
20-Aug-07	27-Sep-07	159	38	3816	342
13-Jul-11	19-Jul-11	1385	6	33240	54
9-Oct-14	18-Oct-14	1178	9	28272	81
Average				12864	116

Dari data TTF yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *reliability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi weibull-3 dengan parameter beta (β) = 1.0445, eta (η) = 14248 dan gamma (γ) = -143.9. Adapun perhitungan dilakukan

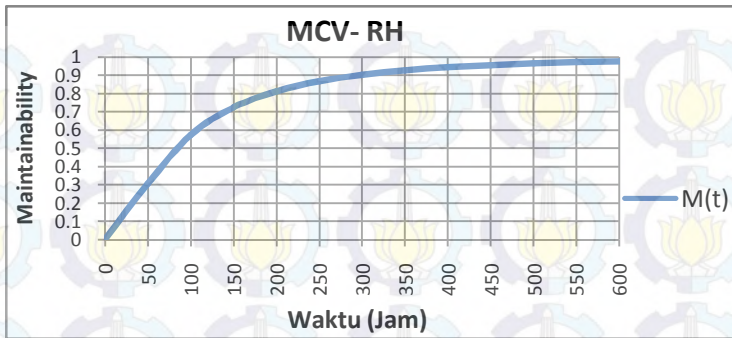
menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *reliability* terhadap waktu operasional.



Gambar 4.22. Grafik *Reliability* MCV-RH

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *reliability* mengalami penurunan hingga pada nilai 0.542 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Hal tersebut diakibatkan oleh lamanya waktu operasi, sehingga menyebabkan laju kegagalan $\lambda(t)$ mengalami peningkatan dan nilai *reliability* mengalami penurunan. Untuk mengurangi peluang terjadinya kegagalan maka diperlukan perawatan rutin sehingga dapat meningkatkan efektifitas kerja komponen tersebut.

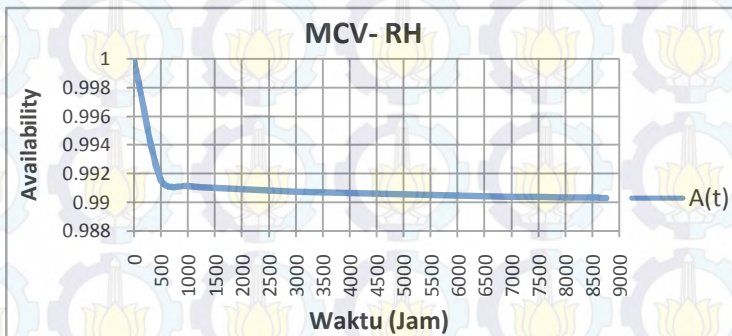
Untuk mencari nilai *maintainability*, data TTR yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *maintainability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi lognormal dengan parameter mean (μ) = 4.4197 dan std (σ) = 0.9962. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *maintainability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.23. Grafik *Maintainability* MCV-RH

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa komponen tersebut dalam interval 600 jam memiliki nilai *maintainability* sebesar 0.999 (99.9%). Ini menunjukkan bahwa komponen tersebut bisa dikembalikan kemampuannya sebesar 97.6% setelah diperbaiki selama 600 jam.

Untuk mencari nilai *availability*, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *availability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.24. Grafik *Avalability* MCV-RH

Berdasarkan grafik diatas diketahui nilai *availability* mengalami penurunan hingga nilai terkecil sebesar 0.9903 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen ini memiliki *availability* yang baik, dimana komponen cadangan tersedia dengan baik ketika komponen tersebut mengalami kerusakan

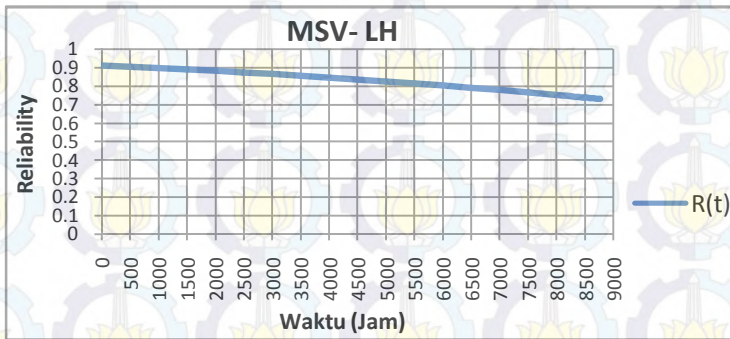
4.1.9 Analisis Kuantitatif Main Stop Valve – Left Hand

Berdasarkan data maintenance, maka diperoleh nilai TTF dari Main Stop Valve – Left Hand (MSV-LH) adalah sebagai berikut :

Tabel 4.9 Main Stop Valve – Left Hand

Main Stop Valve - LH (MSV - LH)					
Raise Date	Closed Date	TTF (Hari)	TTR (Hari)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
14-Mar-02	2-Apr-02				
6-Sep-04	30-Sep-04	888	24	21312	216
15-Jan-07	31-Jan-07	837	16	20088	144
1-Dec-08	7-Dec-08	670	6	16080	54
19-Dec-08	9-Jan-09	12	21	288	189
14-Sep-09	18-Sep-09	248	4	5952	36
29-Oct-12	5-Nov-12	1137	7	27288	63
1-Oct-14	2-Oct-14	695	1	16680	9
Average				15384	101

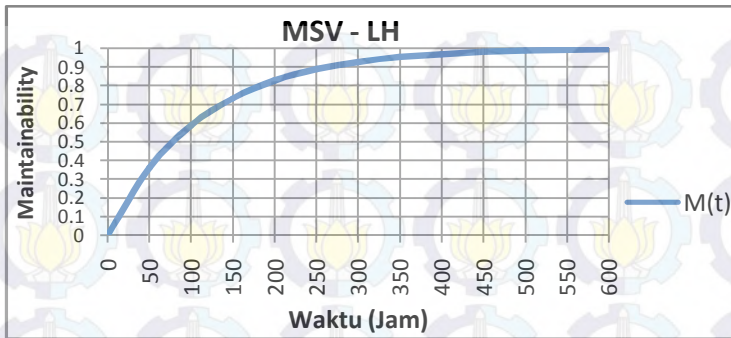
Dari data TTF yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *reliability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi weibull-3 dengan parameter beta (β) = 4.617, eta (η) = 48279 dan gamma (γ) = -28785. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *reliability* terhadap waktu operasional.



Gambar 4.25. Grafik *Reliability* MSV-LH

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *reliability* mengalami penurunan hingga pada nilai 0.731 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Hal tersebut diakibatkan oleh lamanya waktu operasi, sehingga menyebabkan laju kegagalan $\lambda(t)$ mengalami peningkatan dan nilai *reliability* mengalami penurunan. Untuk mengurangi peluang terjadinya kegagalan maka diperlukan perawatan rutin sehingga dapat meningkatkan efektifitas kerja komponen tersebut.

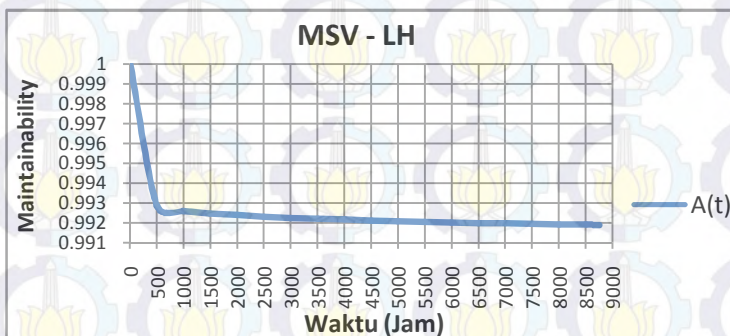
Untuk mencari nilai *maintainability*, data TTR yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *maintainability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi weibull-2 dengan parameter beta (β) = 0.9836 dan eta (η) = 113.4721. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *maintainability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.26. Grafik *Maintainability* MSV-LH

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa komponen tersebut dalam interval 600 jam memiliki nilai *maintainability* sebesar 0.994 (99.4%) Ini menunjukkan bahwa komponen tersebut bisa dikembalikan kemampuannya sebesar 99.905% setelah diperbaiki selama 600 jam

Untuk mencari nilai *availability*, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *availability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.27. Grafik *Avalability* MSV-LH

Berdasarkan grafik diatas diketahui nilai *availability* mengalami penurunan hingga nilai terkecil sebesar 0.991

dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen ini memiliki *availability* yang baik, dimana komponen cadangan tersedia dengan baik ketika komponen tersebut mengalami kerusakan.

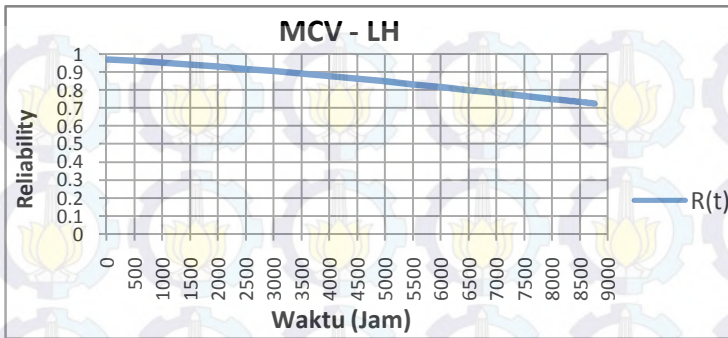
4.1.10 Analisis Kuantitatif Main Control Valve – Left Hand

Berdasarkan data maintenance, maka diperoleh nilai TTF dari *Main Control Valve – Left Hand* (MCV-LH) adalah sebagai berikut :

Tabel 4.10. *Main Control Valve – Left Hand*

<i>Main Control Valve - LH (MCV - LH)</i>					
<i>Raise Date</i>	<i>Closed Date</i>	TTF (Hari)	TTR (Hari)	TTF (Jam)	TTR (Jam)
4-Apr-01	11-Apr-01				
12-Jul-05	17-Jul-05	1553	5	37272	45
11-Aug-06	15-Aug-06	390	4	9360	36
28-Sep-07	11-Oct-07	409	13	9816	117
16-Oct-09	22-Oct-09	736	6	17664	54
21-May-12	5-Jul-12	942	45	22608	405
6-Nov-12	7-Nov-12	124	1	2976	9
25-Aug-14	25-Aug-14	656	0	15744	9
<i>Average</i>				16491	96

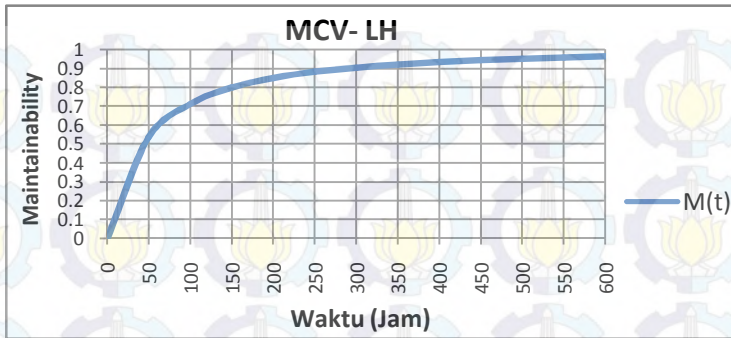
Dari data TTF yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *reliability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi weibull-3 dengan parameter beta (β) = 1.085, eta (η) = 6981.02 dan gamma (γ) = -3018.08. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *reliability* terhadap waktu operasional.



Gambar 4.28. Grafik *Reliability* MCV-LH

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *reliability* mengalami penurunan hingga pada nilai 0.7244 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Hal tersebut diakibatkan oleh lamanya waktu operasi, sehingga menyebabkan laju kegagalan $\lambda(t)$ mengalami peningkatan dan nilai *reliability* mengalami penurunan. Untuk mengurangi peluang terjadinya kegagalan maka diperlukan perawatan rutin sehingga dapat meningkatkan efektifitas kerja komponen tersebut.

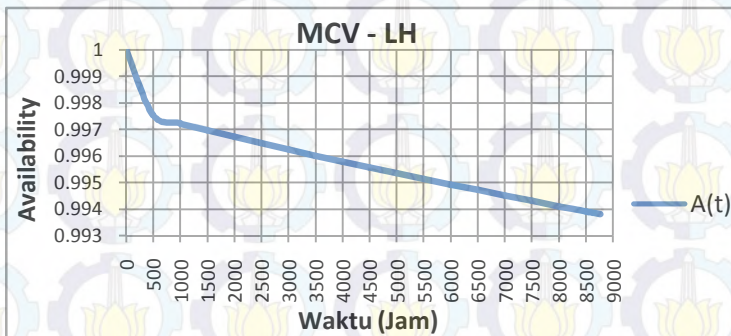
Untuk mencari nilai *maintainability*, data TTR yang telah diketahui dilakukan uji distribusi untuk mengetahui parameter distribusi terbaik menggunakan software weibull. Parameter distribusi yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai *maintainability*. Dari hasil uji distribusi diperoleh distribusi terbaik adalah distribusi lognormal dengan parameter mean (μ) = 3.7914 dan standart deviasi (σ) = 1.4679. Adapun perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *maintainability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.29. Grafik *Maintainability* MCV-LH

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa komponen tersebut dalam interval 600 jam memiliki nilai *maintainability* sebesar 0.962 (96.2%) Ini menunjukkan bahwa komponen tersebut bisa dikembalikan kemampuannya sebesar 96.2% setelah diperbaiki selama 600 jam.

Untuk mencari nilai *availability*, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah grafik evaluasi *availability* terhadap waktu perbaikan.



Gambar 4.30. Grafik *Availability* MCV-LH

Berdasarkan grafik diatas diketahui nilai *availability* mengalami penurunan hingga nilai terkecil sebesar 0.993 dalam rentang waktu 1 tahun (8760 jam). Dari nilai tersebut menunjukkan bahwa komponen ini memiliki *availability* yang baik, dimana komponen cadangan tersedia dengan baik ketika komponen tersebut mengalami kerusakan

4.2 Analisis Menggunakan Metode Logika Fuzzy

Analisis menggunakan logika fuzzy untuk mencari nilai *reliability* disusun menggunakan 2 input yaitu MTTF dan Waktu yang menghasilkan 1 output berupa nilai *reliability*. Fungsi keanggotaan variabel MTTF terdiri dari 3 fungsi keanggotaan. Untuk fungsi keanggotaan variabel Waktu terdiri dari 9 fungsi keanggotaan. Sedangkan untuk fungsi keanggotaan variabel *reliability* menggunakan 14 fungsi keanggotaan.

Analisis menggunakan logika fuzzy untuk mencari nilai *maintainability* disusun menggunakan 2 input yaitu MTTR dan Waktu yang menghasilkan 1 output berupa nilai *maintainability*. Fungsi keanggotaan variabel MTTR terdiri dari 3 fungsi keanggotaan. Untuk fungsi keanggotaan variabel Waktu terdiri dari 9 fungsi keanggotaan. Sedangkan untuk fungsi keanggotaan variabel *maintainability* menggunakan 14 fungsi keanggotaan.

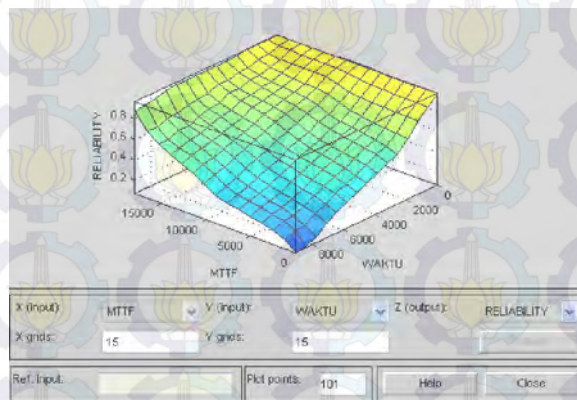
Analisis menggunakan logika fuzzy untuk mencari nilai *availability* disusun menggunakan 3 input yaitu MTTF, MTTR, dan Waktu yang menghasilkan 1 output berupa nilai *availability*. Fungsi keanggotaan variabel MTTF terdiri dari 3 fungsi keanggotaan. Untuk fungsi keanggotaan variabel MTTR terdiri dari 3 fungsi keanggotaan. Untuk fungsi keanggotaan variabel Waktu terdiri dari 9 fungsi keanggotaan. Sedangkan untuk fungsi keanggotaan variabel *availability* menggunakan 14 fungsi keanggotaan.

- **Hasil Analisis *Reliability* Menggunakan Logika Fuzzy**

Berdasarkan hasil simulasi dari basis aturan yang telah disusun maka diperoleh nilai *reliability* untuk waktu (500, 3500, dan 7000 jam) seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.11. *Reliability* Metode Logika Fuzzy

Komponen	<i>Reliability</i>			MTTF (Jam)
	t=500 Jam	t=3500 Jam	t=7000 Jam	
BOV-1	0.942653	0.788813	0.614979	13037
TBCV-1	0.901787	0.628086	0.393038	6691
BOV-2	0.964372	0.924830	0.890379	17728
TBCV-2	0.913836	0.650732	0.424191	7851
BOV-3	0.942653	0.759002	0.568991	11282
TBCV-3	0.951845	0.853537	0.727155	16371
MSV – RH	0.941565	0.802122	0.635953	13803
MCV – RH	0.942653	0.785942	0.610448	12864
MSV – LH	0.946637	0.830976	0.682353	15384
MCV – LH	0.952769	0.856790	0.735881	16491



Gambar 4.31. Surface *Reliability* Logika Fuzzy

Berdasarkan tabel diatas dan grafik evaluasi menggunakan logika fuzzy pada Lampiran D diketahui bahwa nilai *reliability* mengalami penurunan seiring bertambahnya

waktu operasi. Hal tersebut diakibatkan oleh lamanya waktu operasi, sehingga menyebabkan laju kegagalan mengalami peningkatan dan nilai *reliability* mengalami penurunan. Selain itu, berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa komponen yang memiliki nilai *reliability* terburuk adalah Turbin Bypass Control Valve-1 (TBCV-1) yaitu sebesar 0.393038 pada waktu 7000 jam. sedangkan komponen yang memiliki nilai *reliability* terbaik adalah Boiler Outlet Valve-2 (BOV-2) dengan nilai *reliability* 0.8930379 pada waktu 7000 jam.

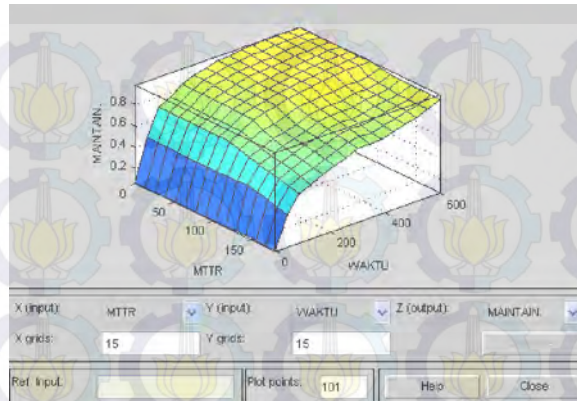
Dari gambar surface diatas dapat diketahui hubungan himpunan waktu dan himpunan MTTF adalah semakin besar nilai MTTF suatu komponen atau sistem maka semakin besar nilai *reliability*nya, dan nilai *reliability* ini akan semakin turun seiring dengan bertambahnya waktu operational dari komponen atau sistem tersebut.

- **Hasil Analisis *Maintainability* Menggunakan Logika Fuzzy**

Berdasarkan hasil simulasi dari basis aturan yang telah disusun maka diperoleh nilai *maintainability* untuk waktu (150, 350, dan 600 jam) seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.12. *Maintainability* Metode Logika Fuzzy

Komponen	<i>Maintainability</i>			MTTR (Jam)
	t=150 Jam	t=350 Jam	t=600Jam	
BOV-1	0.814069	0.928474	0.985660	61
TBCV-1	0.712586	0.850184	0.949387	122.3
BOV-2	0.655920	0.802436	0.943159	154
TBCV-2	0.814487	0.928622	0.987499	93
BOV-3	0.814377	0.928622	0.986863	77
TBCV-3	0.606827	0.761718	0.943437	176
MSV – RH	0.748005	0.875956	0.960782	108
MCV – RH	0.726300	0.860185	0.953589	116
MSV – LH	0.770857	0.897381	0.969047	101
MCV – LH	0.794854	0.913018	0.978888	96



Gambar 4.32. Surface Maintainability Logika Fuzzy

Berdasarkan tabel diatas dan grafik evaluasi menggunakan logika fuzzy pada Lampiran D diketahui bahwa nilai *maintainability* mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu perbaikan.

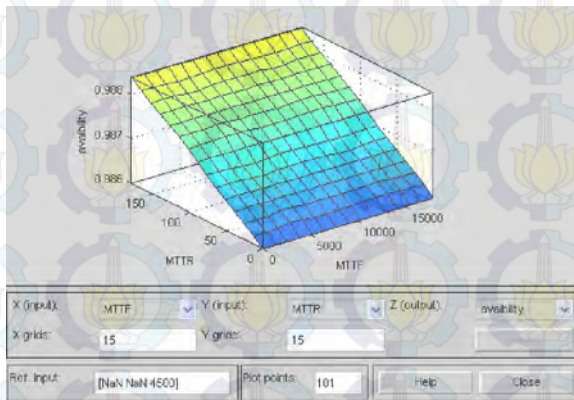
Dari gambar surface diatas dapat diketahui hubungan himpunan waktu dan himpunan MTTR adalah semakin besar nilai MTTR suatu komponen atau sistem maka semakin kecil nilai *maintainability*, dan nilai *maintainability* ini akan semakin naik seiring dengan bertambahnya waktu perbaikan dari komponen atau sistem tersebut.

- **Hasil Analisis Availability Menggunakan Logika Fuzzy**

Berdasarkan hasil simulasi dari basis aturan yang telah disusun maka diperoleh nilai *availability* untuk waktu (500, 3500, dan 7000 jam) seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.13. *Availability* Metode Logika Fuzzy

Komponen	<i>Availability</i>			MTTF (Jam)	MTTR (Jam)
	t=500 Jam	t=3500 Jam	t=7000 Jam		
BOV-1	0.993240	0.987738	0.983824	13037	61
TBCV-1	0.993920	0.988700	0.984663	6691	122
BOV-2	0.994226	0.989102	0.985023	17728	154
TBCV-2	0.994056	0.988281	0.984397	7851	93
BOV-3	0.993653	0.987959	0.984142	11282	77
TBCV-3	0.994973	0.989420	0.985445	16371	176
MSV - RH	0.993948	0.988540	0.984517	13803	108
MCV - RH	0.993955	0.988644	0.984604	12864	116
MSV - LH	0.994025	0.988427	0.984478	15384	101
MCV - LH	0.994044	0.988337	0.984432	16491	96

**Gambar 4.33.** Surface *Availability* Logika Fuzzy

Berdasarkan tabel diatas dan grafik evaluasi menggunakan logika fuzzy pada Lampiran D diketahui bahwa nilai *availability* mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu operasi.

Dari gambar surface diatas dapat diketahui hubungan nilai ketersediaan suatu komponen dipengaruhi oleh seiring

bertambahnya nilai MTTR, himpunan MTTF dan seiring berjalannya waktu perawatan komponen

4.3 Perbandingan Metode Kuantitatif Dengan Metode Logika Fuzzy

Nilai *reliability*, *maintainability* dan *availability* yang diperoleh dengan metode kuantitatif dan logika fuzzy kemudian dibandingkan pada tiga waktu yang berbeda.

- **Perbandingan *Reliability* Metode Kuantitatif dengan Metode Logika Fuzzy**

Hasil *reliability* yang diperoleh pada keseluruhan komponen pada sistem dengan metode kuantitatif dan metode logika fuzzy untuk waktu (500, 3500, 7000 jam) seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.14. Perbandingan *Reliability* pada $t = 500$ jam

Komponen	Reliability				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
BOV-1	0.942653	0.968080	0.938538	0.883605	0.993374
TBCV-1	0.901787	0.870934	0.870770	0.841019	0.885643
BOV-2	0.964372	0.999849	1.000000	0.951371	1.000000
TBCV-2	0.913836	0.956189	0.943240	0.951371	0.987773
BOV-3	0.942653	0.978575	1.000000	0.881998	0.996960
TBCV-3	0.951845	0.970778	0.929122	0.924688	0.995867
MSV - RH	0.941565	0.987071	1.000000	0.880225	0.999114
MCV - RH	0.942653	0.969979	0.961391	0.856052	0.993252
MSV - LH	0.946637	0.936631	0.905338	0.930598	0.976843
MCV - LH	0.952769	0.992981	0.961729	0.908629	0.999910

Tabel 4.15. Perbandingan *Reliability* pada $t = 3500$ jam

Komponen	<i>Reliability</i>				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
BOV-1	0.788813	0.791620	0.811371	0.817977	0.786796
TBCV-1	0.628086	0.539054	0.547485	0.696651	0.479978
BOV-2	0.924830	0.983895	1.000000	0.914582	0.997940
TBCV-2	0.650732	0.698564	0.799488	0.914582	0.665331
BOV-3	0.759002	0.802328	0.779916	0.803818	0.794601
TBCV-3	0.853537	0.822183	0.827221	0.878120	0.837605
MSV - RH	0.802122	0.856195	0.845559	0.818822	0.864536
MCV - RH	0.785942	0.789603	0.786084	0.789556	0.778655
MSV - LH	0.830976	0.749133	0.855553	0.881377	0.744957
MCV - LH	0.856790	0.904800	0.891685	0.860463	0.934563

Tabel 4.16. Perbandingan *Reliability* pada $t = 7000$ jam

Komponen	<i>Reliability</i>				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
BOV-1	0.614979	0.623670	0.659522	0.717209	0.577838
TBCV-1	0.393038	0.348704	0.356242	0.480175	0.309647
BOV-2	0.890379	0.917663	1.000000	0.849112	0.939199
TBCV-2	0.424191	0.471114	0.546474	0.849112	0.412055
BOV-3	0.568991	0.604628	0.572232	0.681070	0.554974
TBCV-3	0.727155	0.681472	0.710704	0.801967	0.653449
MSV - RH	0.635953	0.686972	0.599711	0.726230	0.647870
MCV - RH	0.610448	0.612693	0.614942	0.692883	0.564003
MSV - LH	0.682353	0.612568	0.778089	0.797807	0.572831
MCV - LH	0.735881	0.773033	0.784292	0.785465	0.762538

Berdasarkan hasil pada tabel diatas logika fuzzy dibandingkan dengan metode kuantitatif dapat terlihat bahwa adanya perbedaan data yang diperoleh dari tiap distribusi kegagalan. Hal tersebut yang menjadikan kendala penggunaan metode kuantitatif ketika menentukan nilai reliability komponen atau sistem. Oleh karena itu, perlu dilakukan

perhitungan ketidakpastian (*uncertainty*) yang bertujuan untuk mengetahui hubungan antara pengaruh nilai *reliability* metode perhitungan ketidakpastian nilai *reliability* metode kuantitatif terhadap nilai *reliability* metode logika fuzzy yang dibahas pada sub bab selanjutnya.

- **Perbandingan *Maintainability* Metode Kuantitatif dengan Metode Logika Fuzzy**

Hasil *maintainability* yang diperoleh pada keseluruhan komponen pada sistem dengan metode kuantitatif dan metode logika fuzzy untuk waktu (150, 350, 600 jam) seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.17. Perbandingan *Maintainability*

Komponen	<i>Maintainability</i>					
	Metode Kuantitatif			Metode Logika Fuzzy		
	t=150 Jam	t=350 Jam	t=600 Jam	t=150 Jam	t=350 Jam	t=600 Jam
BOV-1	0.881	0.987	0.999	0.814	0.928	0.985
TBCV-1	0.727	0.888	0.952	0.712	0.850	0.949
BOV-2	0.647	0.821	0.901	0.655	0.802	0.943
TBCV-2	0.831	0.944	0.977	0.814	0.928	0.987
BOV-3	0.834	0.949	0.980	0.814	0.761	0.986
TBCV-3	0.630	0.786	0.869	0.606	0.761	0.943
MSV - RH	0.786	0.908	0.953	0.748	0.875	0.960
MCV - RH	0.723	0.925	0.976	0.726	0.860	0.953
MSV - LH	0.731	0.951	0.994	0.770	0.893	0.969
MCV - LH	0.796	0.920	0.962	0.794	0.913	0.978

Berdasarkan hasil perhitungan antara metode kuantitatif dengan metode logika fuzzy yang ditunjukkan pada tabel diatas dapat terlihat bahwa logika fuzzy dapat memenuhi nilai *maintainability* yang diharapkan. Hal tersebut ditandai dengan nilai *maintainability* dengan logika fuzzy memiliki nilai yang mendekati nilai dengan metode kuantitatif. Selain itu, dari

hasil kedua metode tersebut nilai *maintainability* mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu perbaikan.

- **Perbandingan *Availability* Metode Kuantitatif dengan Metode Logika Fuzzy**

Hasil *availability* yang diperoleh pada keseluruhan komponen pada sistem dengan metode kuantitatif dan metode logika fuzzy untuk waktu (500, 3500, 7000 jam) seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.18. Perbandingan *Availability*

Komponen	<i>Availability</i>					
	Metode Kuantitatif			Metode Logika Fuzzy		
	t=500 Jam	t=3500 Jam	t=7000 Jam	t=500 Jam	t=3500 Jam	t=7000 Jam
BOV-1	0.997	0.996	0.995	0.993	0.987	0.983
TBCV-1	0.972	0.980	0.983	0.993	0.988	0.984
BOV-2	0.999	0.997	0.993	0.994	0.989	0.985
TBCV-2	0.990	0.988	0.988	0.994	0.988	0.984
BOV-3	0.995	0.992	0.991	0.993	0.987	0.984
TBCV-3	0.996	0.993	0.990	0.994	0.989	0.985
MSV – RH	0.995	0.991	0.989	0.993	0.988	0.984
MCV – RH	0.991	0.990	0.990	0.993	0.988	0.984
MSV – LH	0.992	0.992	0.991	0.994	0.988	0.984
MCV – LH	0.997	0.996	0.994	0.994	0.988	0.984

Berdasarkan hasil perhitungan antara metode kuantitatif dengan metode logika fuzzy yang ditunjukkan pada tabel diatas dapat terlihat bahwa logika fuzzy dapat memenuhi nilai *availability* yang diharapkan. Hal tersebut ditandai dengan nilai *availability* dengan logika fuzzy memiliki nilai yang mendekati nilai dengan metode kuantitatif. Selain itu, dari hasil kedua metode tersebut nilai *availability* mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu operasi. akan tetapi, nilai *availability* tiap komponen diatas 98% pada t = 7000 jam, yang berarti ketersediaan komponen cadangan tersedia dengan

baik dan dapat menunjang dalam perbaikan kerusakan komponen.

4.4 Perhitungan Ketidakpastian

Perhitungan ketidakpastian (*uncertainty*) dilakukan untuk mengetahui hubungan antara pengaruh nilai *reliability* metode kuantitatif terhadap nilai *reliability* metode logika fuzzy. Metode yang digunakan adalah metode regresi linear, dimana yang akan menjadi variabel terikat (y_i) adalah nilai *reliability* metode logika fuzzy. Sedangkan yang menjadi variabel bebas (x_i) adalah nilai *reliability* metode kuantitatif dengan distribusi yang berbeda, yaitu distribusi weibull-2, distribusi weibull-3, distribusi normal, dan distribusi lognormal. Untuk R adalah faktor residual (*error*) dengan persamaan matematis seperti pada persamaan (2.22) pada bab sebelumnya. Berikut adalah hasil perhitungan ketidakpastian tiap distribusi.

Tabel 4.19. Hubungan Nilai *Reliability* Distribusi Weibull-2 dengan Nilai *Reliability* Logika Fuzzy

No	x_i	y_i	x^2	$x_i \cdot y_i$	R	SSR
1	0.62367	0.614979	0.388964	0.383544	-0.00399	1.59E-05
2	0.348704	0.393038	0.121594	0.137054	0.047034	0.002212
3	0.917663	0.890379	0.842105	0.817068	-0.02044	0.000418
4	0.471114	0.424191	0.221948	0.199842	-0.04333	0.001878
5	0.604628	0.568991	0.365575	0.344028	-0.03107	0.000966
6	0.681472	0.727155	0.464404	0.495536	0.050807	0.002581
7	0.686972	0.635953	0.471931	0.436882	-0.04586	0.002103
8	0.612693	0.610448	0.375393	0.374017	0.002378	5.65E-06
9	0.612568	0.682353	0.37524	0.417988	0.074407	0.005536
10	0.773033	0.735881	0.59758	0.56886	-0.03136	0.000984
Σ	6.332517	6.283368	4.224734	4.174819	-0.00142	0.016699

Sehingga, dari hasil data di atas didapatkan nilai a , b , y , dan U melalui persamaan berikut ini :

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - [\sum_{i=1}^n x_i][\sum_{i=1}^n y_i]}{n \sum_{i=0}^n x_i^2 - [\sum_{i=0}^n x_i]^2} \quad (4.1)$$

$$b = 0.992716$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.2)$$

$$a = -0.00016$$

$$y = a + b \cdot x \quad (4.3)$$

$$y = -0.00016 + 0.992716 \cdot x \quad (4.4)$$

$$U = \sqrt{\frac{SSR}{(n-Var)}} \quad (4.5)$$

$$U = \sqrt{\frac{0.016699}{(10-2)}}$$

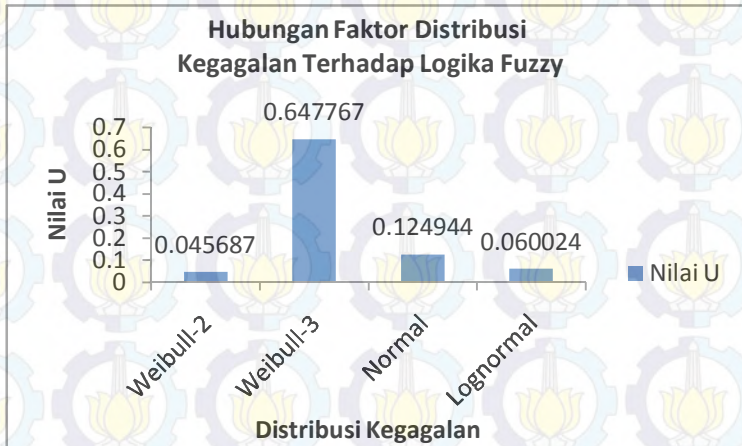
$$U = 0.045687$$

Untuk hubungan nilai *reliability* distribusi lainya dengan nilai *reliability* logika fuzzy terdapat pada Lampiran E. dan berikut adalah tabel hasil perhitungan nilai U untuk tiap distribusi kegagalan.

Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Nilai U
Untuk Tiap Distribusi Kegagalan

Distribusi	Nilai U
Weibull-2	0.045687
Weibull-3	0.647767
Normal	0.124944
Lognormal	0.060024

Selanjutnya dari tabel 4.20 diatas dapat direpresentasikan pada Gambar 4.34 dibawah ini.



Gambar 4.34. Hubungan Faktor Distribusi Kegagalan Terhadap nilai U

Berdasarkan analisis regresi yang telah dilakukan, maka diperoleh masing-masing besar pengaruh setiap faktor distribusi kegagalan terhadap logika fuzzy. Faktor distribusi kegagalan dengan nilai U tertinggi adalah distribusi kegagalan weibull-3 yaitu sebesar 0.647767. Sedangkan faktor distribusi kegagalan dengan nilai U terendah adalah distribusi kegagalan weibull-2 yaitu sebesar 0.045687. Nilai U menunjukkan besarnya pengaruh (penyimpangan) tiap faktor distribusi kegagalan terhadap logika fuzzy. Jadi, dapat diketahui bahwa nilai U terkecil akan memberikan nilai reliability terbaik.

4.5 Penjadwalan *Maintenance*

Setelah dilakukan analisis *reliability* maka dapat dilakukan penjadwalan *maintenance* berdasarkan nilai *reliability* yang telah diketahui dengan menggunakan logika fuzzy. Hal tersebut bertujuan agar masing – masing komponen memiliki

nilai *reliability* minimal 0,8. Berdasarkan hasil *reliability* diperoleh, waktu ketika nilai *reliability* sebesar 0,8 maka dianjurkan untuk melakukan perawatan rutin. Berikut adalah waktu yang dianjurkan untuk melakukan perawatan rutin berdasarkan data *reliability* yang telah diperoleh dalam interval waktu 1 tahun, Lampiran C :

Tabel 4.21. Rekomendasi Jadwal Perawatan Rutin

Komponen	Rekomendasi Jadwal Perawatan Rutin
BOV-1	Interval waktu 3000 jam (2 kali selama 1 tahun)
TBCV-1	Interval waktu 1500 jam (5 kali selama 1 tahun)
BOV-2	Interval waktu 8760 jam (1 kali selama 1 tahun)
TBCV-2	Interval waktu 1500 jam (5 kali selama 1 tahun)
BOV-3	Interval waktu 2500 jam (3 kali selama 1 tahun)
TBCV-3	Interval waktu 5500 jam (1 kali selama 1 tahun)
MSV – RH	Interval waktu 3500 jam (1 kali selama 1 tahun)
MCV – RH	Interval waktu 2500 jam (3 kali selama 1 tahun)
MSV – LH	Interval waktu 4000 jam (2 kali selama 1 tahun)
MCV – LH	Interval waktu 5000 jam (1 kali selama 1 tahun)

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa komponen yang memiliki interval terpendek untuk dilakukan perawatan rutin adalah komponen TBCV-1 dan TBCV-2 yaitu selama 1500 jam sekali. Hal tersebut dikarenakan kedua komponen memiliki tingkat kegagalan yang tinggi bila dibandingkan komponen lain. Perawatan rutin perlu dilakukan agar memperoleh kinerja yang baik pada masing-masing komponen sehingga tingkat kegagalan dapat diturunkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

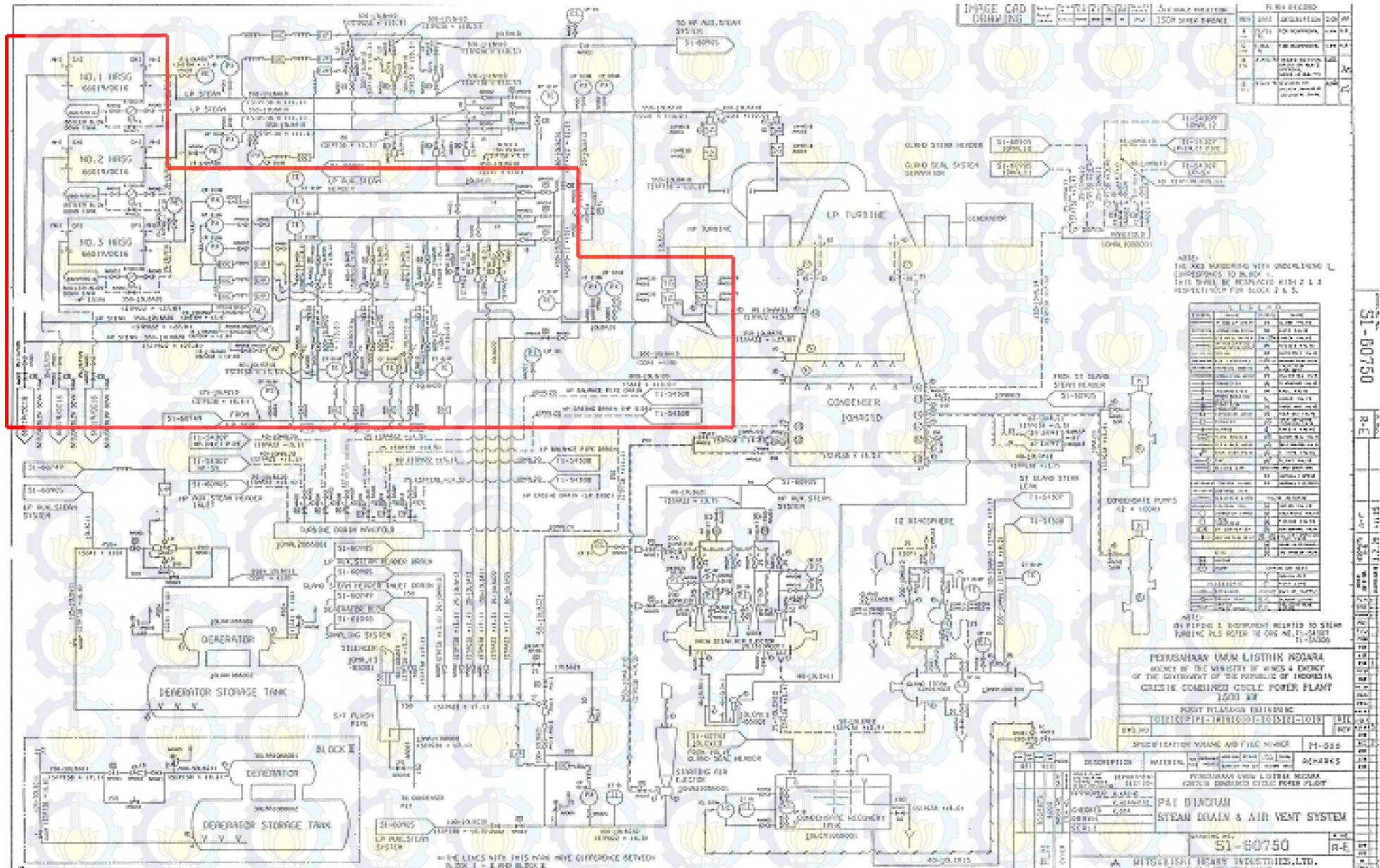
1. Berdasarkan hasil analisis dengan metode logika fuzzy, maka dapat diketahui bahwa nilai *reliability* terburuk pada waktu 7000 jam adalah TBCV-1 yaitu 0,303 (30,3%) sedangkan komponen dengan nilai *reliability* terbaik pada waktu 7000 jam adalah BOV-2 yaitu 0,838 (83,8%).
2. Berdasarkan hasil analisis dengan metode logika fuzzy, maka dapat diketahui bahwa hubungan himpunan waktu dan himpunan MTTF adalah semakin besar nilai MTTF suatu komponen atau sistem maka semakin besar nilai *reliability*nya, dimana *reliability* ini akan semakin turun dengan bertambahnya waktu operasional dari komponen atau sistem tersebut.
3. Faktor distribusi kegagalan dengan nilai U tertinggi adalah distribusi kegagalan weibull-3 yaitu sebesar 0.647767. Sedangkan faktor distribusi kegagalan dengan nilai U terendah adalah distribusi kegagalan weibull-2 yaitu sebesar 0.045687
4. Berdasarkan hasil analisis menggunakan logika fuzzy dapat diketahui bahwa komponen yang memiliki interval terpendek untuk dilakukan perawatan rutin adalah komponen TBCV-1 dan TBCV-2 yaitu selama 1500 jam sekali. Sedangkan komponen yang memiliki interval terpanjang untuk dilakukan perawatan rutin adalah BOV-2 yaitu selama 8760 jam

5.2 Saran

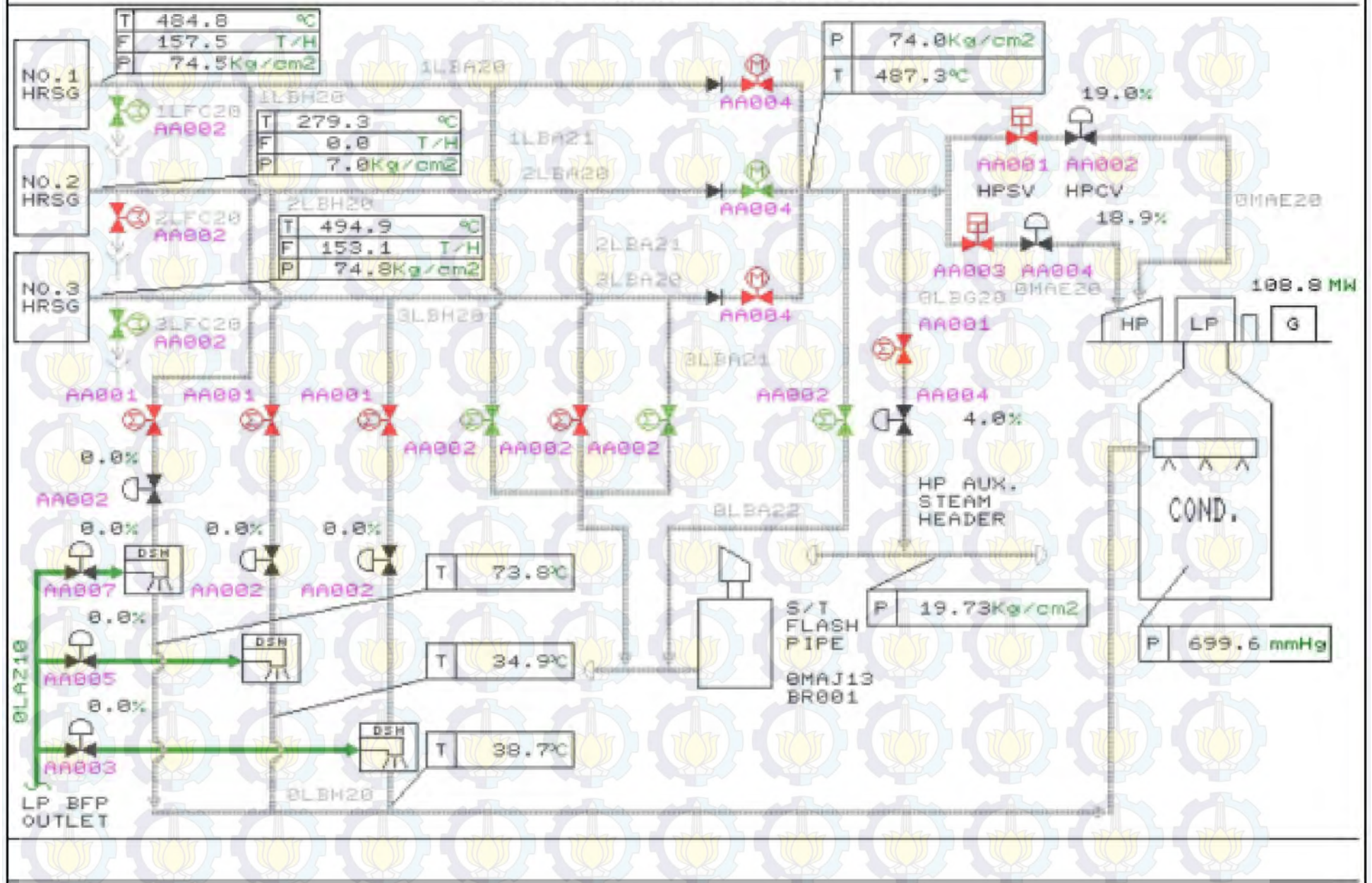
Adapun saran yang dapat diberikan guna pengembangan penelitian ini antara lain adalah :

1. Perlu dikembangkan perbandingan antara kuantitatif, kualitatif, dan logika fuzzy serta analisis biaya .
2. Untuk Perusahaan, sebaiknya memperpendek durasi perawatan pada komponen sering mengalami kerusakan sehingga diperoleh *reliability* yang lebih tinggi dan kinerja yang baik.

LAMPIRAN A **P&ID DAN FLOW DIAGRAM HP MAIN STEAM SYSTEM**



BLOCK1 HRSG/ST HP STEAM FLOW



LAMPIRAN B
HASIL PERHITUNGAN NILAI *RELIABILITY*,
***MAINTAINABILITY* DAN *AVAILABILITY* MENGGUNAKAN**
METODE KUANTITATIF

• **Tabel Hasil Perhitungan *Reliability***

Tabel 1. Hasil Perhitungan *Reliability* BOV – 1

Boiler Outlet Valve - 1 (BOV-1)					
t (Jam)	R(t)	beta (β)	eta (η)	gamma (γ)	Distribusi
0	0.957376	1.295	16695	-1484.84	Weibull-3
500	0.938538	1.295	16695	-1484.84	
1000	0.918648	1.295	16695	-1484.84	
1500	0.897995	1.295	16695	-1484.84	
2000	0.876792	1.295	16695	-1484.84	
2500	0.855203	1.295	16695	-1484.84	
3000	0.83336	1.295	16695	-1484.84	
3500	0.811371	1.295	16695	-1484.84	
4000	0.789327	1.295	16695	-1484.84	
4500	0.767305	1.295	16695	-1484.84	
5000	0.745371	1.295	16695	-1484.84	
5500	0.72358	1.295	16695	-1484.84	
6000	0.701982	1.295	16695	-1484.84	
6500	0.680617	1.295	16695	-1484.84	
7000	0.659522	1.295	16695	-1484.84	
7500	0.638728	1.295	16695	-1484.84	
8000	0.618261	1.295	16695	-1484.84	
8500	0.598145	1.295	16695	-1484.84	
8760	0.58783	1.295	16695	-1484.84	

Tabel 2. Hasil Perhitungan *Reliability* TBCV – 1

Turbin Bypass Control Valve -1 (TBCV-1)					
t (Jam)	R(t)	beta (β)	eta (η)	gamma (γ)	Distribusi
0	0.981568	0.7835	6763.154	-41.84	Weibull-3
500	0.87077	0.7835	6763.154	-41.84	
1000	0.793776	0.7835	6763.154	-41.84	
1500	0.730531	0.7835	6763.154	-41.84	
2000	0.676195	0.7835	6763.154	-41.84	
2500	0.628432	0.7835	6763.154	-41.84	
3000	0.585841	0.7835	6763.154	-41.84	
3500	0.547485	0.7835	6763.154	-41.84	
4000	0.512689	0.7835	6763.154	-41.84	
4500	0.48094	0.7835	6763.154	-41.84	
5000	0.451838	0.7835	6763.154	-41.84	
5500	0.425061	0.7835	6763.154	-41.84	
6000	0.400345	0.7835	6763.154	-41.84	
6500	0.377468	0.7835	6763.154	-41.84	
7000	0.356242	0.7835	6763.154	-41.84	
7500	0.336508	0.7835	6763.154	-41.84	
8000	0.318124	0.7835	6763.154	-41.84	
8500	0.300972	0.7835	6763.154	-41.84	
8760	0.292503	0.7835	6763.154	-41.84	

Tabel 3. Hasil Perhitungan *Reliability* BOV – 2

Boiler Outlet Valve - 2 (BOV-2)				
t (Jam)	R(t)	beta (β)	eta (η)	Distribusi
0	1	2.4039	19431	Weibull-2
500	0.999849	2.4039	19431	
1000	0.999201	2.4039	19431	
1500	0.997884	2.4039	19431	
2000	0.99578	2.4039	19431	
2500	0.992795	2.4039	19431	
3000	0.988854	2.4039	19431	
3500	0.983895	2.4039	19431	
4000	0.977868	2.4039	19431	
4500	0.970731	2.4039	19431	
5000	0.962455	2.4039	19431	
5500	0.953017	2.4039	19431	
6000	0.942407	2.4039	19431	
6500	0.930621	2.4039	19431	
7000	0.917663	2.4039	19431	
7500	0.903549	2.4039	19431	
8000	0.888299	2.4039	19431	
8500	0.871944	2.4039	19431	
8760	0.863015	2.4039	19431	

Tabel 4. Hasil Perhitungan *Reliability* TBCV – 2

Turbin Bypass Control Valve -2 (TBCV-2)				
t (Jam)	R(t)	beta (β)	eta (η)	Distribusi
0	1	1.0691	9131.157	Weibull-2
500	0.956189	1.0691	9131.157	
1000	0.910288	1.0691	9131.157	
1500	0.865024	1.0691	9131.157	
2000	0.821017	1.0691	9131.157	
2500	0.778532	1.0691	9131.157	
3000	0.737696	1.0691	9131.157	
3500	0.698564	1.0691	9131.157	
4000	0.66115	1.0691	9131.157	
4500	0.625439	1.0691	9131.157	
5000	0.591404	1.0691	9131.157	
5500	0.559004	1.0691	9131.157	
6000	0.528191	1.0691	9131.157	
6500	0.498913	1.0691	9131.157	
7000	0.471114	1.0691	9131.157	
7500	0.444738	1.0691	9131.157	
8000	0.419727	1.0691	9131.157	
8500	0.396023	1.0691	9131.157	
8760	0.384195	1.0691	9131.157	

Tabel 5. Hasil Perhitungan *Reliability* BOV – 3

Boiler Outlet Valve - 3 (BOV-3)				
t (Jam)	R(t)	beta (β)	eta (η)	Distribusi
0	1	1.1919	12456	Weibull-2
500	0.978575	1.1919	12456	
1000	0.951725	1.1919	12456	
1500	0.92291	1.1919	12456	
2000	0.893119	1.1919	12456	
2500	0.862883	1.1919	12456	
3000	0.832541	1.1919	12456	
3500	0.802328	1.1919	12456	
4000	0.772414	1.1919	12456	
4500	0.742929	1.1919	12456	
5000	0.713969	1.1919	12456	
5500	0.685609	1.1919	12456	
6000	0.657905	1.1919	12456	
6500	0.630901	1.1919	12456	
7000	0.604628	1.1919	12456	
7500	0.579108	1.1919	12456	
8000	0.554358	1.1919	12456	
8500	0.530386	1.1919	12456	
8760	0.518229	1.1919	12456	

Tabel 6. Hasil Perhitungan *Reliability* TBCV – 3

Turbin Bypass Control Valve -3 (TBCV-3)				
t (Jam)	R(t)	Mean (μ)	Std (σ)	Distribusi
0	0.930911	16371	11042	Normal
500	0.924688	16371	11042	
1000	0.918046	16371	11042	
1500	0.910972	16371	11042	
2000	0.903454	16371	11042	
2500	0.895479	16371	11042	
3000	0.887037	16371	11042	
3500	0.87812	16371	11042	
4000	0.86872	16371	11042	
4500	0.85883	16371	11042	
5000	0.848447	16371	11042	
5500	0.837568	16371	11042	
6000	0.826194	16371	11042	
6500	0.814326	16371	11042	
7000	0.801967	16371	11042	
7500	0.789124	16371	11042	
8000	0.775806	16371	11042	
8500	0.762023	16371	11042	
8760	0.754676	16371	11042	

Tabel 7. Hasil Perhitungan *Reliability* MSV – RH

Main Stop Valve - RH (MSV - RH)				
t (Jam)	R(t)	beta (β)	eta (η)	Distribusi
0	1	1.274	15102	Weibull-2
500	0.987071	1.274	15102	
1000	0.969019	1.274	15102	
1500	0.948614	1.274	15102	
2000	0.926717	1.274	15102	
2500	0.903814	1.274	15102	
3000	0.880228	1.274	15102	
3500	0.856195	1.274	15102	
4000	0.831895	1.274	15102	
4500	0.807472	1.274	15102	
5000	0.783044	1.274	15102	
5500	0.758705	1.274	15102	
6000	0.734538	1.274	15102	
6500	0.710608	1.274	15102	
7000	0.686972	1.274	15102	
7500	0.663679	1.274	15102	
8000	0.640767	1.274	15102	
8500	0.618271	1.274	15102	
8760	0.606747	1.274	15102	

Tabel 8. Hasil Perhitungan *Reliability* MCV – RH

Main Control Valve - RH (MCV - RH)					
t (Jam)	R(t)	beta (β)	eta (η)	gamma (γ)	Distribusi
0	0.991802	1.0445	14248	-143.9	Weibull-3
500	0.961391	1.0445	14248	-143.9	
1000	0.930753	1.0445	14248	-143.9	
1500	0.900499	1.0445	14248	-143.9	
2000	0.87083	1.0445	14248	-143.9	
2500	0.841842	1.0445	14248	-143.9	
3000	0.813585	1.0445	14248	-143.9	
3500	0.786084	1.0445	14248	-143.9	
4000	0.759353	1.0445	14248	-143.9	
4500	0.733394	1.0445	14248	-143.9	
5000	0.708203	1.0445	14248	-143.9	
5500	0.683775	1.0445	14248	-143.9	
6000	0.660097	1.0445	14248	-143.9	
6500	0.637157	1.0445	14248	-143.9	
7000	0.614942	1.0445	14248	-143.9	
7500	0.593435	1.0445	14248	-143.9	
8000	0.572621	1.0445	14248	-143.9	
8500	0.552484	1.0445	14248	-143.9	
8760	0.542273	1.0445	14248	-143.9	

Tabel 9. Hasil Perhitungan *Reliability* MSV – LH

Main Stop Valve - LH (MSV - LH)					
t (Jam)	R(t)	beta (β)	eta (η)	gamma (γ)	Distribusi
0	0.912246	4.617	48279	-28785	Weibull-3
500	0.905338	4.617	48279	-28785	
1000	0.898048	4.617	48279	-28785	
1500	0.890366	4.617	48279	-28785	
2000	0.882283	4.617	48279	-28785	
2500	0.873792	4.617	48279	-28785	
3000	0.864884	4.617	48279	-28785	
3500	0.855553	4.617	48279	-28785	
4000	0.845794	4.617	48279	-28785	
4500	0.835603	4.617	48279	-28785	
5000	0.824976	4.617	48279	-28785	
5500	0.813912	4.617	48279	-28785	
6000	0.802408	4.617	48279	-28785	
6500	0.790467	4.617	48279	-28785	
7000	0.778089	4.617	48279	-28785	
7500	0.765279	4.617	48279	-28785	
8000	0.752041	4.617	48279	-28785	
8500	0.738383	4.617	48279	-28785	
8760	0.731118	4.617	48279	-28785	

Tabel 10. Hasil Perhitungan *Reliability* MCV – LH

Main Control Valve - LH (MCV - LH)					
t (Jam)	R(t)	beta (β)	eta (η)	gamma (γ)	Distribusi
0	0.97059	1.7476	22510	-3018.08	Weibull-3
500	0.961729	1.7476	22510	-3018.08	
1000	0.951968	1.7476	22510	-3018.08	
1500	0.941368	1.7476	22510	-3018.08	
2000	0.929987	1.7476	22510	-3018.08	
2500	0.917877	1.7476	22510	-3018.08	
3000	0.905094	1.7476	22510	-3018.08	
3500	0.891685	1.7476	22510	-3018.08	
4000	0.877702	1.7476	22510	-3018.08	
4500	0.86319	1.7476	22510	-3018.08	
5000	0.848197	1.7476	22510	-3018.08	
5500	0.832767	1.7476	22510	-3018.08	
6000	0.816945	1.7476	22510	-3018.08	
6500	0.800773	1.7476	22510	-3018.08	
7000	0.784292	1.7476	22510	-3018.08	
7500	0.767543	1.7476	22510	-3018.08	
8000	0.750566	1.7476	22510	-3018.08	
8500	0.733397	1.7476	22510	-3018.08	
8760	0.724407	1.7476	22510	-3018.08	

- **Tabel Hasil Perhitungan *Maintainability***

Tabel 11. Hasil Perhitungan *Maintainability* BOV – 1

Boiler Outlet Valve - 1 (BOV-1)					
t (Jam)	M(t)	beta (β)	eta (η)	gamma (γ)	Dist.
0	0	0.8331	57.8834	6.3325	Weibull-3
50	0.54649	0.8331	57.8834	6.3325	
100	0.77537	0.8331	57.8834	6.3325	
150	0.881473	0.8331	57.8834	6.3325	
200	0.935108	0.8331	57.8834	6.3325	
250	0.963548	0.8331	57.8834	6.3325	
300	0.979119	0.8331	57.8834	6.3325	
350	0.987849	0.8331	57.8834	6.3325	
400	0.992837	0.8331	57.8834	6.3325	
450	0.99573	0.8331	57.8834	6.3325	
500	0.99743	0.8331	57.8834	6.3325	
550	0.99844	0.8331	57.8834	6.3325	
600	0.999046	0.8331	57.8834	6.3325	

Tabel 12. Hasil Perhitungan *Maintainability* TBCV – 1

Turbin Bypass Control Valve -1 (TBCV-1)					
t (Jam)	M(t)	beta (β)	eta (η)	gamma (γ)	Dist.
0	0	0.5987	92.1579	7.165	Weibull-3
50	0.46853	0.5987	92.1579	7.165	
100	0.633733	0.5987	92.1579	7.165	
150	0.72746	0.5987	92.1579	7.165	
200	0.788996	0.5987	92.1579	7.165	
250	0.832397	0.5987	92.1579	7.165	
300	0.864398	0.5987	92.1579	7.165	
350	0.888729	0.5987	92.1579	7.165	
400	0.907658	0.5987	92.1579	7.165	
450	0.922649	0.5987	92.1579	7.165	
500	0.934695	0.5987	92.1579	7.165	
550	0.944491	0.5987	92.1579	7.165	
600	0.952538	0.5987	92.1579	7.165	

Tabel 13. Hasil Perhitungan *Maintainability* BOV – 2

Boiler Outlet Valve - 2 (BOV-2)					
t (Jam)	M(t)	beta (β)	eta (η)	gamma (γ)	Dist.
0	0	0.5234	115.0714	25.1425	Weibull-3
50	0.361355	0.5234	115.0714	25.1425	
100	0.549988	0.5234	115.0714	25.1425	
150	0.647832	0.5234	115.0714	25.1425	
200	0.712011	0.5234	115.0714	25.1425	
250	0.758278	0.5234	115.0714	25.1425	
300	0.793471	0.5234	115.0714	25.1425	
350	0.821204	0.5234	115.0714	25.1425	
400	0.843619	0.5234	115.0714	25.1425	
450	0.862086	0.5234	115.0714	25.1425	
500	0.877534	0.5234	115.0714	25.1425	
550	0.890616	0.5234	115.0714	25.1425	
600	0.901808	0.5234	115.0714	25.1425	

Tabel 14. Hasil Perhitungan *Maintainability* TBCV – 2

Turbin Bypass Control Valve -1 (TBCV-2)				
t (Jam)	M(t)	Mean (μ)	Std (σ)	Dist.
0	0	3.7249	1.3387	Lognormal
50	0.555583	3.7249	1.3387	
100	0.744588	3.7249	1.3387	
150	0.831582	3.7249	1.3387	
200	0.880069	3.7249	1.3387	
250	0.910205	3.7249	1.3387	
300	0.930324	3.7249	1.3387	
350	0.94446	3.7249	1.3387	
400	0.954783	3.7249	1.3387	
450	0.962551	3.7249	1.3387	
500	0.968543	3.7249	1.3387	
550	0.973258	3.7249	1.3387	
600	0.977032	3.7249	1.3387	

Tabel 15. Hasil Perhitungan *Maintainability* BOV – 3

Boiler Outlet Valve - 3 (BOV-3)				
t (Jam)	M(t)	Mean (μ)	Std (σ)	Dist.
0	0	3.7798	1.2645	Lognormal
50	0.54164	3.7798	1.2645	
100	0.743033	3.7798	1.2645	
150	0.834817	3.7798	1.2645	
200	0.885102	3.7798	1.2645	
250	0.915798	3.7798	1.2645	
300	0.935937	3.7798	1.2645	
350	0.949854	3.7798	1.2645	
400	0.959858	3.7798	1.2645	
450	0.967276	3.7798	1.2645	
500	0.972917	3.7798	1.2645	
550	0.977298	3.7798	1.2645	
600	0.98076	3.7798	1.2645	

Tabel 16. Hasil Perhitungan *Maintainability* TBCV – 3

Turbin Bypass Control Valve -3 (TBCV-3)					
t (Jam)	M(t)	beta (β)	eta (η)	gamma (γ)	Dist.
0	0	0.5013	143.8916	7.57	Weibull-3
50	0.41851	0.5013	143.8916	7.57	
100	0.551125	0.5013	143.8916	7.57	
150	0.630238	0.5013	143.8916	7.57	
200	0.68553	0.5013	143.8916	7.57	
250	0.727164	0.5013	143.8916	7.57	
300	0.759948	0.5013	143.8916	7.57	
350	0.786558	0.5013	143.8916	7.57	
400	0.80864	0.5013	143.8916	7.57	
450	0.827275	0.5013	143.8916	7.57	
500	0.843216	0.5013	143.8916	7.57	
550	0.857002	0.5013	143.8916	7.57	
600	0.869035	0.5013	143.8916	7.57	

Tabel 17. Hasil Perhitungan *Maintainability* MSV – RH

Main Stop Valve - RH (MSV - RH)				
t (Jam)	M(t)	Mean (μ)	Std (σ)	Dist.
0	0	3.7638	1.5722	Lognormal
50	0.537556	3.7638	1.5722	
100	0.703729	3.7638	1.5722	
150	0.786126	3.7638	1.5722	
200	0.835476	3.7638	1.5722	
250	0.868209	3.7638	1.5722	
300	0.891385	3.7638	1.5722	
350	0.908566	3.7638	1.5722	
400	0.921745	3.7638	1.5722	
450	0.932128	3.7638	1.5722	
500	0.940483	3.7638	1.5722	
550	0.947326	3.7638	1.5722	
600	0.953014	3.7638	1.5722	

Tabel 18. Hasil Perhitungan *Maintainability* MCV – RH

Main Control Valve - RH (MCV - RH)				
t (Jam)	M(t)	Mean (μ)	Std (σ)	Dist.
0	0	4.4197	0.9962	Lognormal
50	0.305161	4.4197	0.9962	
100	0.573847	4.4197	0.9962	
150	0.723473	4.4197	0.9962	
200	0.811103	4.4197	0.9962	
250	0.865629	4.4197	0.9962	
300	0.901298	4.4197	0.9962	
350	0.925591	4.4197	0.9962	
400	0.94269	4.4197	0.9962	
450	0.955056	4.4197	0.9962	
500	0.964208	4.4197	0.9962	
550	0.971114	4.4197	0.9962	
600	0.976415	4.4197	0.9962	

Tabel 19. Hasil Perhitungan *Maintainability* MSV – LH

Main Stop Valve - LH (MSV - LH)				
t (Jam)	M(t)	beta (β)	eta (η)	Dist.
0	0	0.9836	113.4721	Weibull-2
50	0.3602	0.9836	113.4721	
100	0.586502	0.9836	113.4721	
150	0.73176	0.9836	113.4721	
200	0.825572	0.9836	113.4721	
250	0.886372	0.9836	113.4721	
300	0.925875	0.9836	113.4721	
350	0.951588	0.9836	113.4721	
400	0.96835	0.9836	113.4721	
450	0.97929	0.9836	113.4721	
500	0.986438	0.9836	113.4721	
550	0.991113	0.9836	113.4721	
600	0.994173	0.9836	113.4721	

Tabel 20. Hasil Perhitungan *Maintainability* MCV – LH

Main Control Valve - LH (MCV - LH)				
t (Jam)	M(t)	Mean (μ)	Std (σ)	Dist.
0	0	3.7914	1.4679	Lognormal
50	0.532746	3.7914	1.4679	
100	0.71034	3.7914	1.4679	
150	0.7969	3.7914	1.4679	
200	0.847691	3.7914	1.4679	
250	0.88072	3.7914	1.4679	
300	0.903679	3.7914	1.4679	
350	0.920407	3.7914	1.4679	
400	0.933035	3.7914	1.4679	
450	0.942835	3.7914	1.4679	
500	0.95061	3.7914	1.4679	
550	0.956894	3.7914	1.4679	
600	0.962051	3.7914	1.4679	

- **Tabel Hasil Evaluasi *Availability***

Tabel 21. Hasil Perhitungan *Availability* BOV – 1

Boiler Outlet Valve - 1 (BOV-1)				
t (Jam)	A(t)	$\lambda(t)$	MTTR	μ
0	1	3.8E-05	70.8	0.0141243
500	0.997081	4.14E-05	70.8	0.0141243
1000	0.996879	4.42E-05	70.8	0.0141243
1500	0.996706	4.67E-05	70.8	0.0141243
2000	0.996553	4.89E-05	70.8	0.0141243
2500	0.996414	5.08E-05	70.8	0.0141243
3000	0.996287	5.26E-05	70.8	0.0141243
3500	0.99617	5.43E-05	70.8	0.0141243
4000	0.996061	5.59E-05	70.8	0.0141243
4500	0.995959	5.73E-05	70.8	0.0141243
5000	0.995862	5.87E-05	70.8	0.0141243
5500	0.995771	6E-05	70.8	0.0141243
6000	0.995684	6.12E-05	70.8	0.0141243
6500	0.995601	6.24E-05	70.8	0.0141243
7000	0.995522	6.35E-05	70.8	0.0141243
7500	0.995446	6.46E-05	70.8	0.0141243
8000	0.995373	6.57E-05	70.8	0.0141243
8500	0.995303	6.67E-05	70.8	0.0141243
8760	0.995267	6.72E-05	70.8	0.0141243

Tabel 22. Hasil Perhitungan *Availability* TBCV – 1

Turbin Bypass Control Valve -1 (TBCV-1)				
t (Jam)	A(t)	$\lambda(t)$	MTTR	μ
0	1	0.000348	146.2	0.0068399
500	0.972419	0.0002	146.2	0.0068399
1000	0.975258	0.000174	146.2	0.0068399
1500	0.977206	0.00016	146.2	0.0068399
2000	0.978521	0.00015	146.2	0.0068399
2500	0.979495	0.000143	146.2	0.0068399
3000	0.980262	0.000138	146.2	0.0068399
3500	0.980889	0.000133	146.2	0.0068399
4000	0.981418	0.00013	146.2	0.0068399
4500	0.981873	0.000126	146.2	0.0068399
5000	0.982271	0.000123	146.2	0.0068399
5500	0.982624	0.000121	146.2	0.0068399
6000	0.98294	0.000119	146.2	0.0068399
6500	0.983227	0.000117	146.2	0.0068399
7000	0.983488	0.000115	146.2	0.0068399
7500	0.983727	0.000113	146.2	0.0068399
8000	0.983948	0.000112	146.2	0.0068399
8500	0.984153	0.00011	146.2	0.0068399
8760	0.984254	0.000109	146.2	0.0068399

Tabel 23. Hasil Perhitungan *Availability* BOV – 2

Boiler Outlet Valve - 2 (BOV-2)				
t (Jam)	A(t)	$\lambda(t)$	MTTR	μ
0	1	0	237.1	0.004218
500	0.999849	7.26E-07	237.1	0.004218
1000	0.999551	1.92E-06	237.1	0.004218
1500	0.999197	3.39E-06	237.1	0.004218
2000	0.998797	5.08E-06	237.1	0.004218
2500	0.998354	6.95E-06	237.1	0.004218
3000	0.997875	8.98E-06	237.1	0.004218
3500	0.997363	1.12E-05	237.1	0.004218
4000	0.996821	1.35E-05	237.1	0.004218
4500	0.996252	1.59E-05	237.1	0.004218
5000	0.995657	1.84E-05	237.1	0.004218
5500	0.995038	2.1E-05	237.1	0.004218
6000	0.994397	2.38E-05	237.1	0.004218
6500	0.993735	2.66E-05	237.1	0.004218
7000	0.993052	2.95E-05	237.1	0.004218
7500	0.992351	3.25E-05	237.1	0.004218
8000	0.991632	3.56E-05	237.1	0.004218
8500	0.990895	3.88E-05	237.1	0.004218
8760	0.990505	4.04E-05	237.1	0.004218

Tabel 24. Hasil Perhitungan *Availability* TBCV – 2

Turbin Bypass Control Valve -2 (TBCV-2)				
t (Jam)	A(t)	$\lambda(t)$	MTTR	μ
0	1	0	101.5914	0.009843
500	0.990429	9.58E-05	101.5914	0.009843
1000	0.989895	0.0001	101.5914	0.009843
1500	0.98961	0.000103	101.5914	0.009843
2000	0.989404	0.000105	101.5914	0.009843
2500	0.989241	0.000107	101.5914	0.009843
3000	0.989106	0.000108	101.5914	0.009843
3500	0.988991	0.00011	101.5914	0.009843
4000	0.98889	0.000111	101.5914	0.009843
4500	0.9888	0.000111	101.5914	0.009843
5000	0.988719	0.000112	101.5914	0.009843
5500	0.988645	0.000113	101.5914	0.009843
6000	0.988578	0.000114	101.5914	0.009843
6500	0.988515	0.000114	101.5914	0.009843
7000	0.988457	0.000115	101.5914	0.009843
7500	0.988402	0.000116	101.5914	0.009843
8000	0.988351	0.000116	101.5914	0.009843
8500	0.988303	0.000117	101.5914	0.009843
8760	0.988278	0.000117	101.5914	0.009843

Tabel 25. Hasil Perhitungan *Availability* BOV – 3

Boiler Outlet Valve - 3 (BOV-3)				
t (Jam)	A(t)	$\lambda(t)$	MTTR	μ
0	1	0	97.44422	0.010262
500	0.995023	5.16E-05	97.44422	0.010262
1000	0.994286	5.9E-05	97.44422	0.010262
1500	0.993827	6.37E-05	97.44422	0.010262
2000	0.993479	6.74E-05	97.44422	0.010262
2500	0.993195	7.03E-05	97.44422	0.010262
3000	0.992955	7.28E-05	97.44422	0.010262
3500	0.992745	7.5E-05	97.44422	0.010262
4000	0.992558	7.69E-05	97.44422	0.010262
4500	0.992389	7.87E-05	97.44422	0.010262
5000	0.992235	8.03E-05	97.44422	0.010262
5500	0.992092	8.18E-05	97.44422	0.010262
6000	0.99196	8.32E-05	97.44422	0.010262
6500	0.991837	8.45E-05	97.44422	0.010262
7000	0.991721	8.57E-05	97.44422	0.010262
7500	0.991612	8.68E-05	97.44422	0.010262
8000	0.991508	8.79E-05	97.44422	0.010262
8500	0.991409	8.89E-05	97.44422	0.010262
8760	0.99136	8.94E-05	97.44422	0.010262

Tabel 26. Hasil Perhitungan *Availability* TBCV – 3

Turbin Bypass Control Valve -3 (TBCV-3)				
t (Jam)	A(t)	$\lambda(t)$	MTTR	μ
0	1	1.29E-05	292.7	0.003416
500	0.996674	1.39E-05	292.7	0.003416
1000	0.995787	1.49E-05	292.7	0.003416
1500	0.99536	1.6E-05	292.7	0.003416
2000	0.995011	1.71E-05	292.7	0.003416
2500	0.994663	1.83E-05	292.7	0.003416
3000	0.994304	1.96E-05	292.7	0.003416
3500	0.99393	2.09E-05	292.7	0.003416
4000	0.993541	2.22E-05	292.7	0.003416
4500	0.993137	2.36E-05	292.7	0.003416
5000	0.992717	2.51E-05	292.7	0.003416
5500	0.992281	2.66E-05	292.7	0.003416
6000	0.991831	2.81E-05	292.7	0.003416
6500	0.991364	2.98E-05	292.7	0.003416
7000	0.990883	3.14E-05	292.7	0.003416
7500	0.990386	3.32E-05	292.7	0.003416
8000	0.989874	3.49E-05	292.7	0.003416
8500	0.989348	3.68E-05	292.7	0.003416
8760	0.989068	3.78E-05	292.7	0.003416

Tabel 27. Hasil Perhitungan *Availability* MSV – RH

Main Stop Valve - RH (MSV - RH)				
t (Jam)	A(t)	$\lambda(t)$	MTTR	μ
0	1	0	148.3696	0.00674
500	0.99527	3.32E-05	148.3696	0.00674
1000	0.994093	4.01E-05	148.3696	0.00674
1500	0.993396	4.48E-05	148.3696	0.00674
2000	0.992858	4.85E-05	148.3696	0.00674
2500	0.992412	5.15E-05	148.3696	0.00674
3000	0.992026	5.42E-05	148.3696	0.00674
3500	0.991685	5.65E-05	148.3696	0.00674
4000	0.991378	5.86E-05	148.3696	0.00674
4500	0.991097	6.05E-05	148.3696	0.00674
5000	0.990839	6.23E-05	148.3696	0.00674
5500	0.990599	6.4E-05	148.3696	0.00674
6000	0.990374	6.55E-05	148.3696	0.00674
6500	0.990163	6.7E-05	148.3696	0.00674
7000	0.989963	6.83E-05	148.3696	0.00674
7500	0.989773	6.96E-05	148.3696	0.00674
8000	0.989593	7.09E-05	148.3696	0.00674
8500	0.98942	7.21E-05	148.3696	0.00674
8760	0.989334	7.27E-05	148.3696	0.00674

Tabel 28. Hasil Perhitungan *Availability* MCV – RH

Main Control Valve - RH (MCV - RH)				
t (Jam)	A(t)	$\lambda(t)$	MTTR	μ
0	1	0	136.443	0.007329
500	0.991575	6.39E-05	136.443	0.007329
1000	0.991144	6.55E-05	136.443	0.007329
1500	0.990996	6.66E-05	136.443	0.007329
2000	0.99089	6.74E-05	136.443	0.007329
2500	0.990805	6.8E-05	136.443	0.007329
3000	0.990735	6.85E-05	136.443	0.007329
3500	0.990674	6.9E-05	136.443	0.007329
4000	0.990621	6.94E-05	136.443	0.007329
4500	0.990574	6.97E-05	136.443	0.007329
5000	0.990531	7.01E-05	136.443	0.007329
5500	0.990493	7.03E-05	136.443	0.007329
6000	0.990457	7.06E-05	136.443	0.007329
6500	0.990424	7.09E-05	136.443	0.007329
7000	0.990393	7.11E-05	136.443	0.007329
7500	0.990365	7.13E-05	136.443	0.007329
8000	0.990338	7.15E-05	136.443	0.007329
8500	0.990312	7.17E-05	136.443	0.007329
8760	0.9903	7.18E-05	136.443	0.007329

Tabel 29. Hasil Perhitungan *Availability* MSV – LH

Main Stop Valve - LH (MSV - LH)				
t (Jam)	A(t)	$\lambda(t)$	MTTR	μ
0	1	5.98E-05	113.9	0.00878
500	0.992864	6.39E-05	113.9	0.00878
1000	0.992593	6.55E-05	113.9	0.00878
1500	0.992472	6.66E-05	113.9	0.00878
2000	0.992384	6.74E-05	113.9	0.00878
2500	0.992313	6.8E-05	113.9	0.00878
3000	0.992254	6.85E-05	113.9	0.00878
3500	0.992203	6.9E-05	113.9	0.00878
4000	0.992159	6.94E-05	113.9	0.00878
4500	0.992119	6.97E-05	113.9	0.00878
5000	0.992083	7.01E-05	113.9	0.00878
5500	0.992051	7.03E-05	113.9	0.00878
6000	0.992021	7.06E-05	113.9	0.00878
6500	0.991993	7.09E-05	113.9	0.00878
7000	0.991968	7.11E-05	113.9	0.00878
7500	0.991944	7.13E-05	113.9	0.00878
8000	0.991921	7.15E-05	113.9	0.00878
8500	0.9919	7.17E-05	113.9	0.00878
8760	0.991889	7.18E-05	113.9	0.00878

Tabel 30. Hasil Perhitungan *Availability* MCV – LH

Main Control Valve - LH (MCV - LH)				
t (Jam)	A(t)	$\lambda(t)$	MTTR	μ
0	1	0	130.1601	0.007683
500	0.997537	1.94E-05	130.1601	0.007683
1000	0.997222	2.14E-05	130.1601	0.007683
1500	0.996967	2.34E-05	130.1601	0.007683
2000	0.996721	2.53E-05	130.1601	0.007683
2500	0.99648	2.71E-05	130.1601	0.007683
3000	0.996245	2.9E-05	130.1601	0.007683
3500	0.996015	3.07E-05	130.1601	0.007683
4000	0.99579	3.25E-05	130.1601	0.007683
4500	0.995568	3.42E-05	130.1601	0.007683
5000	0.995351	3.59E-05	130.1601	0.007683
5500	0.995137	3.75E-05	130.1601	0.007683
6000	0.994926	3.92E-05	130.1601	0.007683
6500	0.994718	4.08E-05	130.1601	0.007683
7000	0.994513	4.24E-05	130.1601	0.007683
7500	0.994311	4.4E-05	130.1601	0.007683
8000	0.994111	4.55E-05	130.1601	0.007683
8500	0.993914	4.7E-05	130.1601	0.007683
8760	0.993812	4.78E-05	130.1601	0.007683

Tabel 31. Nilai MTTF dan MTTR Tiap komponen

Komponen	MTTF (Jam)	MTTR (Jam)
Boiler Outlet Valve - 1 (BOV-1)	13037	61
Turbin Bypass Control Valve -1 (TBCV-1)	6691	122
Boiler Outlet Valve - 2 (BOV-2)	17728	154
Turbin Bypass Control Valve -2 (TBCV-2)	7851	93
Boiler Outlet Valve - 3 (BOV-3)	11282	77
Turbin Bypass Control Valve -3 (TBCV-3)	16371	176
Main Stop Valve - RH (MSV - RH)	13803	108
Main Control Valve - RH (MCV - RH)	12864	116
Main Stop Valve - LH (MSV - LH)	15384	101
Main Control Valve - LH (MCV - LH)	16491	96

LAMPIRAN C
PERBANDINGAN HASIL METODE LOGIKA FUZZY
DENGAN METODE KUANTITATIF

• **Tabel Perbandingan *Reliability***

Tabel 1. Perbandingan *Reliability* BOV – 1

Boiler Outlet Valve - 1 (BOV-1)					
t (Jam)	Reliability				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
0	0.966630	1.000000	0.957376	0.892659	1.000000
500	0.942653	0.968080	0.938538	0.883605	0.993374
1000	0.941048	0.936556	0.918648	0.874023	0.969805
1500	0.874285	0.905828	0.897995	0.863904	0.936688
2000	0.847347	0.875961	0.876792	0.853243	0.899542
2500	0.821366	0.846973	0.855203	0.842035	0.861286
3000	0.801320	0.818863	0.833360	0.830279	0.823442
3500	0.788813	0.791620	0.811371	0.817977	0.786796
4000	0.761324	0.765229	0.789327	0.805131	0.751735
4500	0.753777	0.739671	0.767305	0.791749	0.718428
5000	0.712797	0.714928	0.745371	0.777840	0.686917
5500	0.701766	0.690977	0.723580	0.763415	0.657176
6000	0.660636	0.667798	0.701982	0.748489	0.629140
6500	0.643159	0.645370	0.680617	0.733081	0.602725
7000	0.614979	0.623670	0.659522	0.717209	0.577838
7500	0.589334	0.602679	0.638728	0.700897	0.554384
8000	0.577638	0.582375	0.618261	0.684171	0.532269
8500	0.557135	0.562737	0.598145	0.667059	0.511402
8760	0.543041	0.552782	0.587830	0.658019	0.501017

Tabel 2. Perbandingan *Reliability* TBCV – 1

Turbin Bypass Control Valve - 1 (TBCV-1)					
t (Jam)	Reliability				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
0	0.968805	1.000000	0.981568	0.859773	1.000000
500	0.901787	0.870934	0.870770	0.841019	0.885643
1000	0.907876	0.790096	0.793776	0.820694	0.775486
1500	0.775164	0.724775	0.730531	0.798807	0.689970
2000	0.742402	0.669196	0.676195	0.775393	0.621869
2500	0.690778	0.620675	0.628432	0.750505	0.566159
3000	0.668010	0.577641	0.585841	0.724224	0.519589
3500	0.628086	0.539054	0.547485	0.696651	0.479978
4000	0.590079	0.504177	0.512689	0.667910	0.445811
4500	0.568888	0.472454	0.480940	0.638145	0.415996
5000	0.527997	0.443457	0.451838	0.607520	0.389724
5500	0.507870	0.416841	0.425061	0.576214	0.366381
6000	0.454680	0.392326	0.400345	0.544419	0.345491
6500	0.435850	0.369679	0.377468	0.512337	0.326680
7000	0.393038	0.348704	0.356242	0.480175	0.309647
7500	0.360145	0.329232	0.336508	0.448141	0.294147
8000	0.339793	0.311121	0.318124	0.416443	0.279982
8500	0.315468	0.294243	0.300972	0.385279	0.266984
8760	0.303807	0.285918	0.292503	0.369348	0.260639

Tabel 3. Perbandingan *Reliability* BOV – 2

Boiler Outlet Valve - 2 (BOV-2)					
t (Jam)	Reliability				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
0	0.971428	1.000000	1.000000	0.956035	1.000000
500	0.964372	0.999849	1.000000	0.951371	1.000000
1000	0.969085	0.999201	1.000000	0.946319	1.000000
1500	0.953465	0.997884	1.000000	0.940860	0.999996
2000	0.955966	0.995780	1.000000	0.934976	0.999958
2500	0.937048	0.992795	1.000000	0.928646	0.999776
3000	0.928252	0.988854	1.000000	0.921854	0.999218
3500	0.924830	0.983895	1.000000	0.914582	0.997940
4000	0.918824	0.977868	1.000000	0.906816	0.995531
4500	0.925754	0.970731	1.000000	0.898539	0.991576
5000	0.909632	0.962455	1.000000	0.889739	0.985710
5500	0.917423	0.953017	1.000000	0.880405	0.977658
6000	0.904809	0.942407	1.000000	0.870527	0.967249
6500	0.907862	0.930621	1.000000	0.860098	0.954419
7000	0.890379	0.917663	1.000000	0.849112	0.939199
7500	0.873579	0.903549	1.000000	0.837566	0.921703
8000	0.866322	0.888299	1.000000	0.825460	0.902105
8500	0.844491	0.871944	1.000000	0.812796	0.880626
8760	0.838475	0.863015	0.990645	0.805992	0.868794

Tabel 4. Perbandingan *Reliability* TBCV – 2

Turbin Bypass Control Valve - 2 (TBCV-2)					
t (Jam)	Reliability				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
0	0.970319	1.000000	0.958200	0.956035	1.000000
500	0.913836	0.956189	0.943240	0.951371	0.987773
1000	0.920135	0.910288	0.925658	0.946319	0.945268
1500	0.806112	0.865024	0.905441	0.940860	0.888915
2000	0.768476	0.821017	0.882620	0.934976	0.829270
2500	0.715410	0.778532	0.857269	0.928646	0.771033
3000	0.693399	0.737696	0.829506	0.921854	0.716156
3500	0.650732	0.698564	0.799488	0.914582	0.665331
4000	0.620346	0.661150	0.767412	0.906816	0.618662
4500	0.599273	0.625439	0.733509	0.898539	0.575985
5000	0.559039	0.591404	0.698039	0.889739	0.537022
5500	0.537953	0.559004	0.661289	0.880405	0.501456
6000	0.488269	0.528191	0.623565	0.870527	0.468970
6500	0.466879	0.498913	0.585185	0.860098	0.439262
7000	0.424191	0.471114	0.546474	0.849112	0.412055
7500	0.392403	0.444738	0.507757	0.837566	0.387097
8000	0.368497	0.419727	0.469352	0.825460	0.364164
8500	0.339315	0.396023	0.431564	0.812796	0.343054
8760	0.325879	0.384195	0.412254	0.805992	0.332738

Tabel 5. Perbandingan *Reliability* BOV – 3

Boiler Outlet Valve - 3 (BOV-3)					
t (Jam)	Reliability				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
0	0.969410	1.000000	1.000000	0.892509	1.000000
500	0.942653	0.978575	1.000000	0.881998	0.996960
1000	0.942389	0.951725	0.993848	0.870779	0.980261
1500	0.879031	0.922910	0.942648	0.858843	0.951433
2000	0.828250	0.893119	0.897387	0.846180	0.915422
2500	0.805168	0.862883	0.855613	0.832787	0.875882
3000	0.775625	0.832541	0.816590	0.818664	0.835136
3500	0.759002	0.802328	0.779916	0.803818	0.794601
4000	0.735419	0.772414	0.745317	0.788257	0.755114
4500	0.715079	0.742929	0.712591	0.771997	0.717151
5000	0.681950	0.713969	0.681577	0.755057	0.680962
5500	0.656673	0.685609	0.652141	0.737462	0.646655
6000	0.621125	0.657905	0.624169	0.719242	0.614249
6500	0.592637	0.630901	0.597562	0.700432	0.583710
7000	0.568991	0.604628	0.572232	0.681070	0.554974
7500	0.533834	0.579108	0.548101	0.661202	0.527955
8000	0.513559	0.554358	0.525098	0.640874	0.502561
8500	0.498220	0.530386	0.503157	0.620139	0.478696
8760	0.478563	0.518229	0.492149	0.609215	0.466858

Tabel 6. Perbandingan *Reliability* TBCV – 3

Turbin Bypass Control Valve - 3 (TBCV-3)					
t (Jam)	Reliability				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
0	0.970045	1.000000	0.945461	0.930911	1.000000
500	0.951845	0.970778	0.929122	0.924688	0.995867
1000	0.957529	0.943565	0.912449	0.918046	0.979868
1500	0.895613	0.917522	0.895555	0.910972	0.955986
2000	0.900026	0.892452	0.878526	0.903454	0.927994
2500	0.862113	0.868250	0.861427	0.895479	0.898148
3000	0.865412	0.844844	0.844311	0.887037	0.867763
3500	0.853537	0.822183	0.827221	0.878120	0.837605
4000	0.830373	0.800223	0.810192	0.868720	0.808123
4500	0.845502	0.778928	0.793255	0.858830	0.779570
5000	0.792722	0.758269	0.776435	0.848447	0.752083
5500	0.812189	0.738218	0.759753	0.837568	0.725723
6000	0.762355	0.718749	0.743226	0.826194	0.700509
6500	0.770373	0.699841	0.726872	0.814326	0.676427
7000	0.727155	0.681472	0.710704	0.801967	0.653449
7500	0.719998	0.663623	0.694732	0.789124	0.631535
8000	0.719300	0.646277	0.678968	0.775806	0.610640
8500	0.685378	0.629415	0.663418	0.762023	0.590714
8760	0.655118	0.620833	0.655420	0.754676	0.580720

Tabel 7. Perbandingan *Reliability* MSV – RH

Main Stop Valve - RH (MSV - RH)					
t (Jam)	Reliability				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
0	0.965969	1.000000	1.000000	0.888828	1.000000
500	0.941565	0.987071	1.000000	0.880225	0.999114
1000	0.941056	0.969019	1.000000	0.871163	0.991906
1500	0.870757	0.948614	1.000000	0.861637	0.976300
2000	0.856382	0.926717	1.000000	0.851641	0.953843
2500	0.828252	0.903814	1.000000	0.841174	0.926623
3000	0.814867	0.880228	0.910836	0.830233	0.896409
3500	0.802122	0.856195	0.845559	0.818822	0.864536
4000	0.776432	0.831895	0.795034	0.806941	0.831966
4500	0.771517	0.807472	0.752529	0.794596	0.799374
5000	0.726675	0.783044	0.715418	0.781795	0.767225
5500	0.722804	0.758705	0.682311	0.768545	0.735833
6000	0.678712	0.734538	0.652349	0.754859	0.705401
6500	0.667018	0.710608	0.624955	0.740748	0.676056
7000	0.635953	0.686972	0.599711	0.726230	0.647870
7500	0.614066	0.663679	0.576308	0.711320	0.620874
8000	0.604136	0.640767	0.554504	0.696038	0.595072
8500	0.579961	0.618271	0.534104	0.680406	0.570450
8760	0.570731	0.606747	0.523999	0.672147	0.558104

Tabel 8. Perbandingan *Reliability* MCV – RH

Main Control Valve - RH (MCV - RH)					
t (Jam)	Reliability				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
0	0.966941	1.000000	0.991802	0.865577	1.000000
500	0.942653	0.969979	0.961391	0.856052	0.993252
1000	0.941272	0.938744	0.930753	0.846081	0.968831
1500	0.875365	0.907691	0.900499	0.835664	0.934361
2000	0.845421	0.877137	0.870830	0.824800	0.895686
2500	0.819862	0.847225	0.841842	0.813492	0.855902
3000	0.798423	0.818033	0.813585	0.801742	0.816617
3500	0.785942	0.789603	0.786084	0.789556	0.778655
4000	0.759209	0.761958	0.759353	0.776942	0.742417
4500	0.749938	0.735109	0.733394	0.763907	0.708068
5000	0.710278	0.709057	0.708203	0.750464	0.675645
5500	0.697308	0.683800	0.683775	0.736624	0.645111
6000	0.656724	0.659327	0.660097	0.722403	0.616390
6500	0.638067	0.635629	0.637157	0.707817	0.589389
7000	0.610448	0.612693	0.614942	0.692883	0.564003
7500	0.583866	0.590503	0.593435	0.677623	0.540127
8000	0.571760	0.569043	0.572621	0.662057	0.517659
8500	0.552797	0.548296	0.552484	0.646210	0.496502
8760	0.536907	0.537784	0.542273	0.637865	0.485986

Tabel 9. Perbandingan *Reliability* MSV – LH

Main Stop Valve - LH (MSV - LH)					
t (Jam)	Reliability				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
0	0.968624	1.000000	0.912246	0.936990	1.000000
500	0.946637	0.936631	0.905338	0.930598	0.976843
1000	0.950444	0.894866	0.898048	0.923718	0.935418
1500	0.878729	0.859553	0.890366	0.916331	0.892416
2000	0.879632	0.828217	0.882283	0.908419	0.851361
2500	0.843710	0.799751	0.873792	0.899965	0.813089
3000	0.843320	0.773526	0.864884	0.890956	0.777675
3500	0.830976	0.749133	0.855553	0.881377	0.744957
4000	0.802857	0.726287	0.845794	0.871219	0.714702
4500	0.811815	0.704777	0.835603	0.860473	0.686672
5000	0.757655	0.684441	0.824976	0.849133	0.660644
5500	0.771220	0.665148	0.813912	0.837195	0.636414
6000	0.718867	0.646795	0.802408	0.824659	0.613805
6500	0.723075	0.629292	0.790467	0.811528	0.592656
7000	0.682353	0.612568	0.778089	0.797807	0.572831
7500	0.670428	0.596558	0.765279	0.783506	0.554206
8000	0.666431	0.581208	0.752041	0.768636	0.536674
8500	0.630700	0.566470	0.738383	0.753213	0.520139
8760	0.635651	0.559035	0.731118	0.744980	0.511907

Tabel 10. Perbandingan *Reliability* MCV – LH

Main Control Valve - LH (MCV - LH)					
t (Jam)	Reliability				
	Logika Fuzzy	Dist. Weibull-2	Dist. Weibull-3	Dist. Normal	Dist. Lognormal
0	0.970202	1.000000	0.970590	0.915282	1.000000
500	0.952769	0.992981	0.961729	0.908629	0.999910
1000	0.958571	0.982038	0.951968	0.901596	0.998409
1500	0.898591	0.968984	0.941368	0.894175	0.993502
2000	0.903006	0.954429	0.929987	0.886357	0.984359
2500	0.866127	0.938728	0.917877	0.878137	0.971096
3000	0.869011	0.922124	0.905094	0.869507	0.954268
3500	0.856790	0.904800	0.891685	0.860463	0.934563
4000	0.834937	0.886901	0.877702	0.851003	0.912654
4500	0.850517	0.868548	0.863190	0.841123	0.889145
5000	0.798535	0.849840	0.848197	0.830823	0.864546
5500	0.818198	0.830865	0.832767	0.820105	0.839278
6000	0.769653	0.811695	0.816945	0.808969	0.813683
6500	0.777609	0.792399	0.800773	0.797421	0.788032
7000	0.735881	0.773033	0.784292	0.785465	0.762538
7500	0.728310	0.753649	0.767543	0.773109	0.737365
8000	0.727341	0.734293	0.750566	0.760361	0.712639
8500	0.694201	0.715007	0.733397	0.747232	0.688455
8760	0.698861	0.705017	0.724407	0.740259	0.676117

- **Tabel Perbandingan *Maintainability***

Tabel 11. Perbandingan *Maintainability* BOV – 1

Boiler Outlet Valve - 1 (BOV-1)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.073505	0
50	0.491162	0.546490
100	0.717304	0.775370
150	0.814069	0.881473
200	0.851257	0.935108
250	0.883943	0.963548
300	0.915203	0.979119
350	0.928474	0.987849
400	0.943057	0.992837
450	0.967045	0.995730
500	0.969236	0.997430
550	0.985660	0.998440
600	0.985660	0.999046

Tabel 12. Perbandingan *Maintainability* TBCV – 1

Turbin Bypass Control Valve - 1 (TBCV-1)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.073909	0
50	0.483463	0.468530
100	0.644383	0.633733
150	0.712586	0.727460
200	0.729362	0.788996
250	0.782938	0.832397
300	0.829753	0.864398
350	0.850184	0.888729
400	0.850125	0.907658
450	0.882597	0.922649
500	0.876144	0.934695
550	0.903759	0.944491
600	0.949387	0.952538

Tabel 13. Perbandingan *Maintainability* BOV – 2

Boiler Outlet Valve - 2 (BOV-2)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.072221	0
50	0.443042	0.361357
100	0.594544	0.549990
150	0.655920	0.647834
200	0.692768	0.712013
250	0.738449	0.758280
300	0.789966	0.793473
350	0.802436	0.821206
400	0.803433	0.843621
450	0.843584	0.862088
500	0.860263	0.877535
550	0.884143	0.890617
600	0.943159	0.901809

Tabel 14. Perbandingan *Maintainability* TBCV – 2

Turbin Bypass Control Valve - 2 (TBCV-2)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.066814	0
50	0.492461	0.555583
100	0.717050	0.744588
150	0.814487	0.831582
200	0.838905	0.880069
250	0.871287	0.910205
300	0.904546	0.930324
350	0.928622	0.944460
400	0.943078	0.954783
450	0.968750	0.962551
500	0.969410	0.968543
550	0.985759	0.973258
600	0.987499	0.977032

Tabel 15. Perbandingan *Maintainability* BOV – 3

Boiler Outlet Valve - 3 (BOV-3)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.068623	0
50	0.492461	0.541640
100	0.717050	0.743033
150	0.814377	0.834817
200	0.845538	0.885102
250	0.876704	0.915798
300	0.908955	0.935937
350	0.928622	0.949854
400	0.943078	0.959858
450	0.968487	0.967276
500	0.969410	0.972917
550	0.985759	0.977298
600	0.986863	0.980760

Tabel 16. Perbandingan *Maintainability* TBCV – 3

Turbine Bypass Control Valve - 3 (TBCV-3)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.067090	0
50	0.388698	0.418510
100	0.541299	0.551125
150	0.606827	0.630238
200	0.657820	0.685530
250	0.706343	0.727164
300	0.760214	0.759948
350	0.761718	0.786558
400	0.773448	0.808640
450	0.817871	0.827275
500	0.841163	0.843216
550	0.884143	0.857002
600	0.943437	0.869035

Tabel 17. Perbandingan *Maintainability* MSV – RH

Main Stop Valve - RH (MSV - RH)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.069344	0
50	0.486480	0.537556
100	0.671728	0.703729
150	0.748005	0.786126
200	0.764202	0.835476
250	0.810818	0.868209
300	0.855551	0.891385
350	0.875956	0.908566
400	0.876762	0.921745
450	0.910139	0.932128
500	0.897004	0.940483
550	0.918017	0.947326
600	0.960782	0.953014

Tabel 18. Perbandingan *Maintainability* MCV – RH

Main Control Valve - RH (MCV - RH)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.071690	0
50	0.485470	0.305161
100	0.655184	0.573847
150	0.726300	0.723473
200	0.742564	0.811103
250	0.793408	0.865629
300	0.839730	0.901298
350	0.860185	0.925591
400	0.860036	0.942690
450	0.893354	0.955056
500	0.883325	0.964208
550	0.908472	0.971114
600	0.953589	0.976415

Tabel 19. Perbandingan *Maintainability* MSV – LH

Main Stop Valve - LH (MSV - LH)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.067934	0
50	0.488314	0.360200
100	0.688521	0.586502
150	0.770857	0.731760
200	0.788893	0.825572
250	0.830814	0.886372
300	0.872566	0.925875
350	0.893785	0.951588
400	0.897381	0.968350
450	0.928644	0.979290
500	0.916132	0.986438
550	0.933353	0.991113
600	0.969047	0.994173

Tabel 20. Perbandingan *Maintainability* MCV – LH

Main Control Valve - LH (MCV - LH)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.067135	0
50	0.490600	0.532746
100	0.704916	0.710340
150	0.794854	0.796900
200	0.816112	0.847691
250	0.853128	0.880720
300	0.890232	0.903679
350	0.913018	0.920407
400	0.921800	0.933035
450	0.949896	0.942835
500	0.942459	0.950610
550	0.956710	0.956894
600	0.978888	0.962051

- **Tabel Perbandingan *Availability***

Tabel 21. Perbandingan *Availability* BOV – 1

Boiler Outlet Valve - 1 (BOV-1)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.999316	1.000000
500	0.993240	0.997081
1000	0.991282	0.996879
1500	0.989898	0.996706
2000	0.989532	0.996553
2500	0.988838	0.996414
3000	0.988447	0.996287
3500	0.987738	0.996170
4000	0.987296	0.996061
4500	0.986764	0.995959
5000	0.985994	0.995862
5500	0.985520	0.995771
6000	0.984741	0.995684
6500	0.984414	0.995601
7000	0.983824	0.995522
7500	0.983368	0.995446
8000	0.982848	0.995373
8500	0.982568	0.995303
8760	0.982325	0.995267

Tabel 22. Perbandingan *Availability* TBCV – 1

Turbin Bypass Control Valve - 1 (TBCV-1)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.999344	1.000000
500	0.993920	0.972419
1000	0.992176	0.975258
1500	0.991125	0.977206
2000	0.990644	0.978521
2500	0.989792	0.979495
3000	0.989339	0.980262
3500	0.988700	0.980889
4000	0.988267	0.981418
4500	0.987641	0.981873
5000	0.987120	0.982271
5500	0.986629	0.982624
6000	0.985818	0.982940
6500	0.985342	0.983227
7000	0.984663	0.983488
7500	0.984150	0.983727
8000	0.983667	0.983948
8500	0.983143	0.984153
8760	0.982851	0.984254

Tabel 23. Perbandingan *Availability* BOV – 2

Boiler Outlet Valve - 2 (BOV-2)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.999366	1.000000
500	0.994226	0.999849
1000	0.992673	0.999551
1500	0.991568	0.999197
2000	0.990981	0.998797
2500	0.990142	0.998354
3000	0.989698	0.997875
3500	0.989102	0.997363
4000	0.988586	0.996821
4500	0.988022	0.996252
5000	0.987441	0.995657
5500	0.987005	0.995038
6000	0.986162	0.994397
6500	0.985751	0.993735
7000	0.985023	0.993052
7500	0.984573	0.992351
8000	0.984124	0.991632
8500	0.983527	0.990895
8760	0.983268	0.990505

Tabel 24. Perbandingan *Availability* TBCV – 2

Turbin Bypass Control Valve - 2 (TBCV-2)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.999403	1.000000
500	0.994056	0.990429
1000	0.991747	0.989895
1500	0.990556	0.989610
2000	0.990073	0.989404
2500	0.989411	0.989241
3000	0.988894	0.989106
3500	0.988281	0.988991
4000	0.987801	0.988890
4500	0.987260	0.988800
5000	0.986724	0.988719
5500	0.986226	0.988645
6000	0.985427	0.988578
6500	0.984954	0.988515
7000	0.984397	0.988457
7500	0.983814	0.988402
8000	0.983228	0.988351
8500	0.982653	0.988303
8760	0.982358	0.988278

Tabel 25. Perbandingan *Availability* BOV – 3

Boiler Outlet Valve – 3 (BOV-3)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.999374	1.000000
500	0.993653	0.995023
1000	0.991476	0.994286
1500	0.990212	0.993827
2000	0.989756	0.993479
2500	0.989112	0.993195
3000	0.988631	0.992955
3500	0.987959	0.992745
4000	0.987505	0.992558
4500	0.987003	0.992389
5000	0.986297	0.992235
5500	0.985832	0.992092
6000	0.985088	0.991960
6500	0.984667	0.991837
7000	0.984142	0.991721
7500	0.983593	0.991612
8000	0.983121	0.991508
8500	0.982585	0.991409
8760	0.982293	0.991360

Tabel 26. Perbandingan *Availability* TBCV – 3

Turbin Bypass Control Valve - 3 (TBCV-3)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.999392	1.000000
500	0.994973	0.996674
1000	0.993152	0.995787
1500	0.991926	0.995360
2000	0.991273	0.995011
2500	0.990512	0.994663
3000	0.990029	0.994304
3500	0.989420	0.993930
4000	0.988896	0.993541
4500	0.988309	0.993137
5000	0.987778	0.992717
5500	0.987300	0.992281
6000	0.986663	0.991831
6500	0.986184	0.991364
7000	0.985445	0.990883
7500	0.984917	0.990386
8000	0.984453	0.989874
8500	0.983864	0.989348
8760	0.983570	0.989068

Tabel 27. Perbandingan *Availability* MSV – RH

Main Stop Valve - RH (MSV - RH)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.999310	1.000000
500	0.993948	0.995270
1000	0.992151	0.994093
1500	0.990898	0.993396
2000	0.990594	0.992858
2500	0.989622	0.992412
3000	0.989226	0.992026
3500	0.988540	0.991685
4000	0.988087	0.991378
4500	0.987519	0.991097
5000	0.986951	0.990839
5500	0.986546	0.990599
6000	0.985625	0.990374
6500	0.985280	0.990163
7000	0.984517	0.989963
7500	0.984070	0.989773
8000	0.983501	0.989593
8500	0.982955	0.989420
8760	0.982783	0.989334

Tabel 28. Perbandingan *Availability* MCV – RH

Main Control Valve - RH (MCV - RH)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.999322	1.000000
500	0.993955	0.991575
1000	0.992189	0.991144
1500	0.991041	0.990996
2000	0.990653	0.990890
2500	0.989726	0.990805
3000	0.989318	0.990735
3500	0.988644	0.990674
4000	0.988187	0.990621
4500	0.987604	0.990574
5000	0.987054	0.990531
5500	0.986609	0.990493
6000	0.985740	0.990457
6500	0.985337	0.990424
7000	0.984604	0.990393
7500	0.984134	0.990365
8000	0.983610	0.990338
8500	0.983059	0.990312
8760	0.982846	0.990300

Tabel 29. Perbandingan *Availability* MSV – LH

Main Stop Valve - LH (MSV - LH)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.999364	1.000000
500	0.994025	0.992864
1000	0.991935	0.992593
1500	0.990767	0.992472
2000	0.990338	0.992384
2500	0.989541	0.992313
3000	0.989051	0.992254
3500	0.988427	0.992203
4000	0.987969	0.992159
4500	0.987396	0.992119
5000	0.986864	0.992083
5500	0.986406	0.992051
6000	0.985566	0.992021
6500	0.985114	0.991993
7000	0.984478	0.991968
7500	0.983921	0.991944
8000	0.983378	0.991921
8500	0.982825	0.991900
8760	0.982562	0.991889

Tabel 30. Perbandingan *Availability* MCV – LH

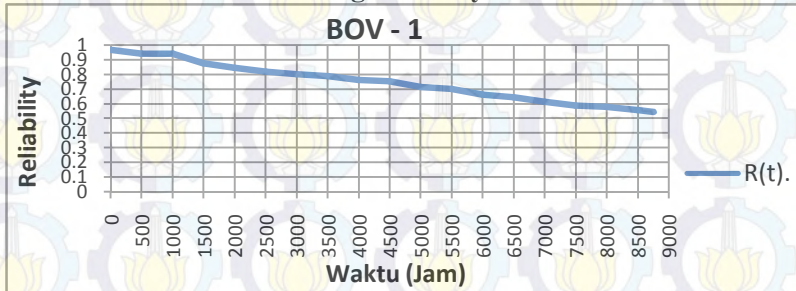
Main Control Valve - LH (MCV - LH)		
t (Jam)	Logika Fuzzy	Kuantitatif
0	0.999395	1.000000
500	0.994044	0.997537
1000	0.991810	0.997222
1500	0.990643	0.996967
2000	0.990175	0.996721
2500	0.989467	0.996480
3000	0.988959	0.996245
3500	0.988337	0.996015
4000	0.987868	0.995790
4500	0.987315	0.995568
5000	0.986784	0.995351
5500	0.986301	0.995137
6000	0.985484	0.994926
6500	0.985014	0.994718
7000	0.984432	0.994513
7500	0.983856	0.994311
8000	0.983289	0.994111
8500	0.982725	0.993914
8760	0.982435	0.993812



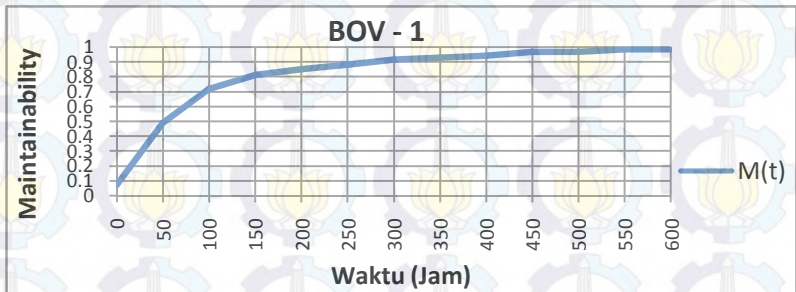
LAMPIRAN D

GRAFIK HASIL METODE LOGIKA FUZZY

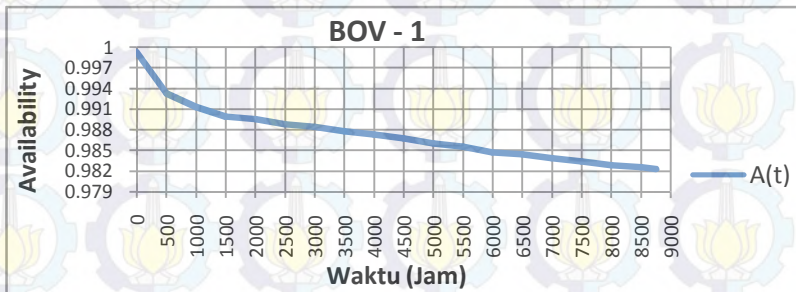
- **Grafik Hasil Metode Logika Fuzzy BOV-1**



Gambar 1. Grafik *Reliability* BOV-1

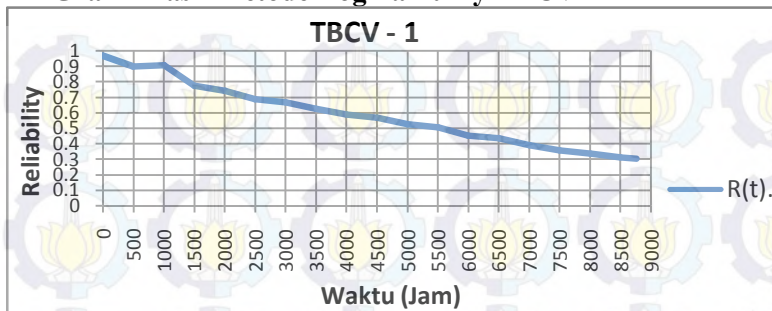


Gambar 2. Grafik *Maintainability* BOV-1

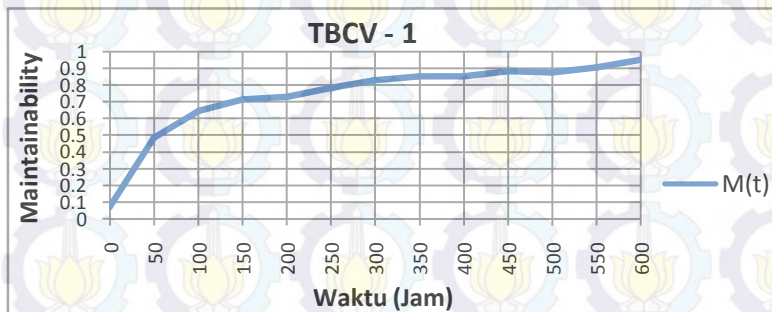


Gambar 3. Grafik *Availability* BOV-1

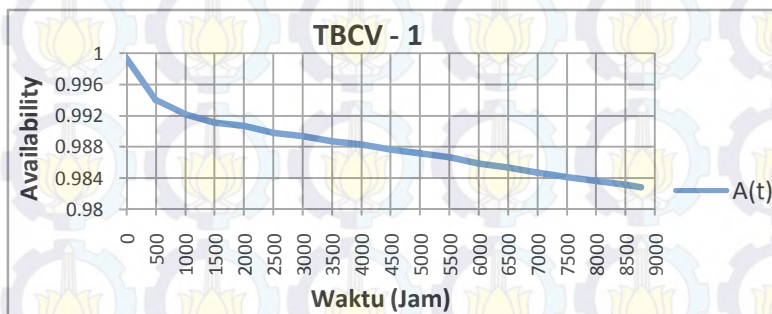
- **Grafik Hasil Metode Logika Fuzzy TBCV-1**



Gambar 4. Grafik *Reliability* TBCV-1

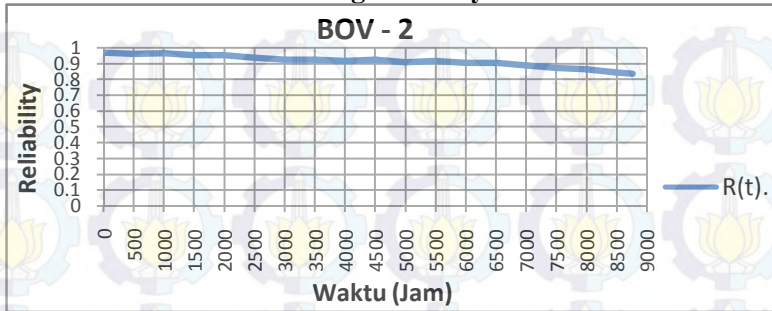


Gambar 5. Grafik *Maintainability* TBCV-1

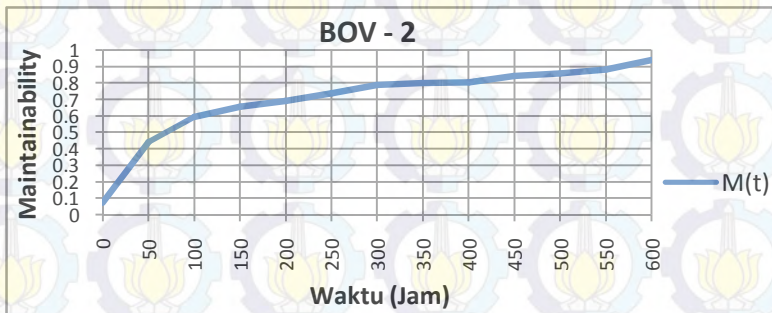


Gambar 6. Grafik *Availability* TBCV-1

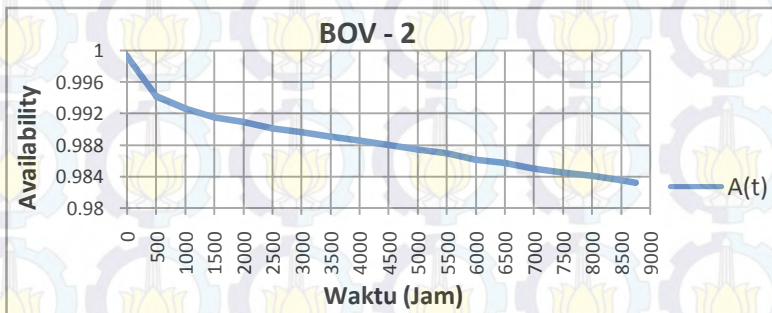
- **Grafik Hasil Metode Logika Fuzzy BOV-2**



Gambar 7. Grafik *Availability* BOV-2

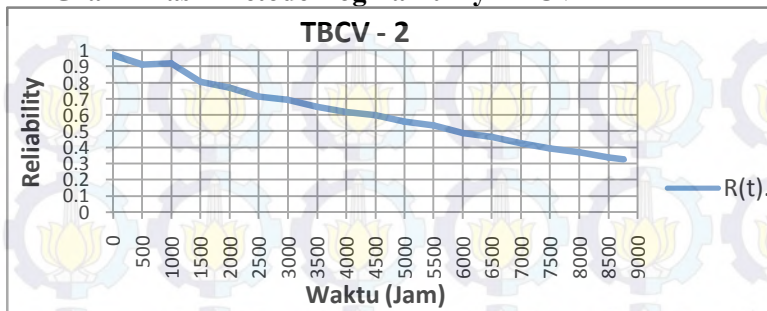


Gambar 8. Grafik *Maintainability* BOV-2

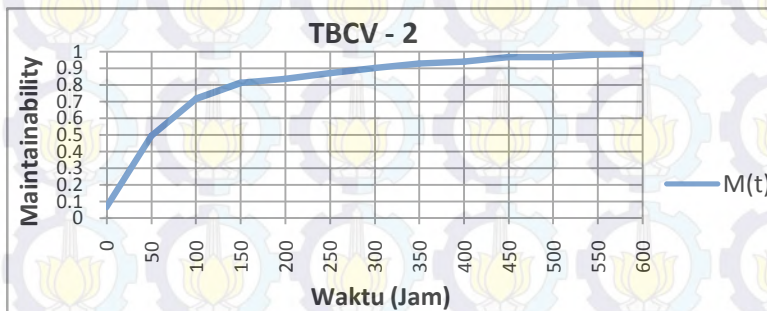


Gambar 9. Grafik *Availability* BOV-2

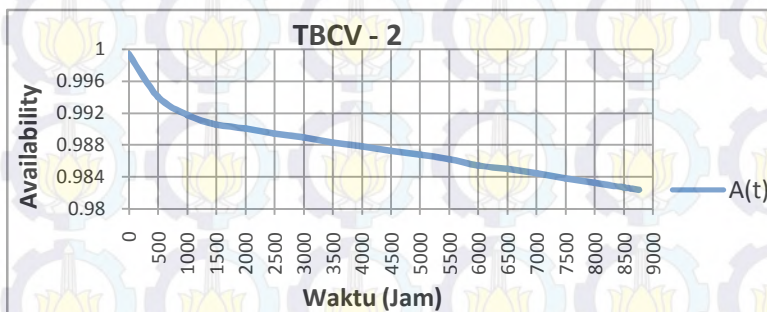
- **Grafik Hasil Metode Logika Fuzzy TBCV-2**



Gambar 10. Grafik *Reliability* TBCV-2

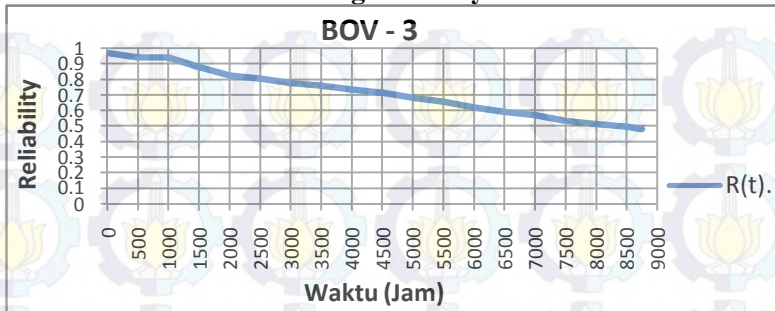


Gambar 11. Grafik *Maintainability* TBCV-2

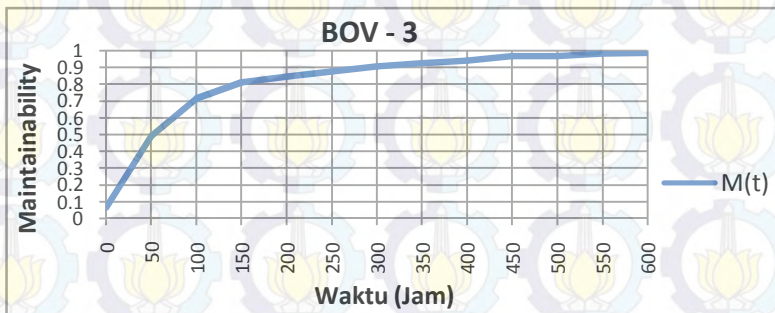


Gambar 12. Grafik *Availability* TBCV-2

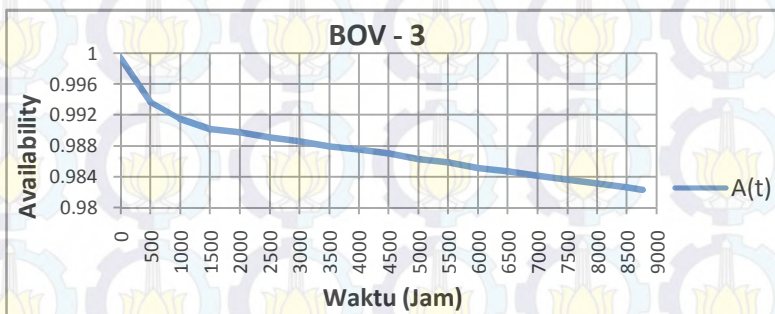
- **Grafik Hasil Metode Logika Fuzzy BOV-3**



Gambar 13. Grafik *Reliability* BOV-3

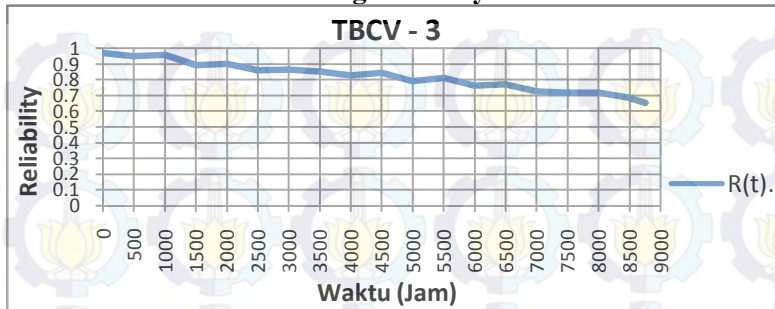


Gambar 14. Grafik *Maintainability* BOV-3

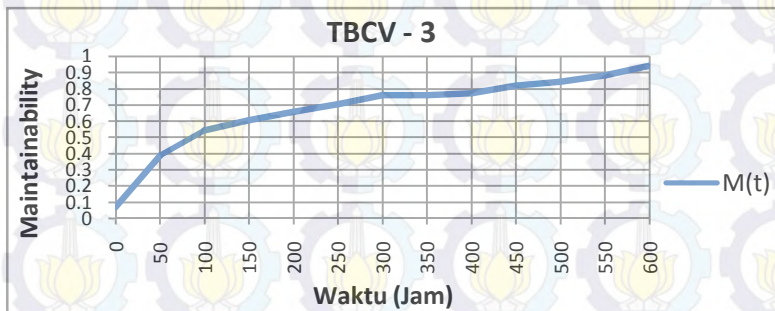


Gambar 15. Grafik *Availability* BOV-3

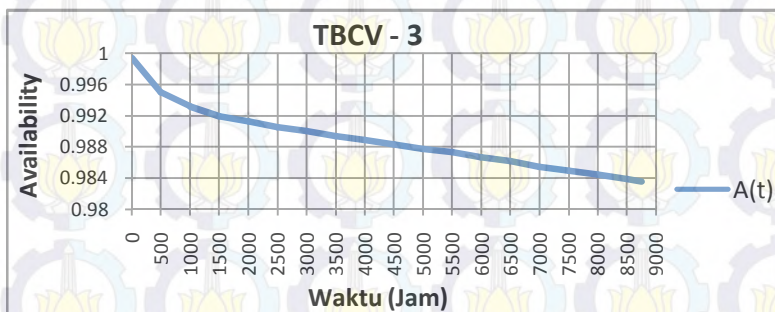
- **Grafik Hasil Metode Logika Fuzzy TBCV-3**



Gambar 16. Grafik *Reliability* TBCV-3

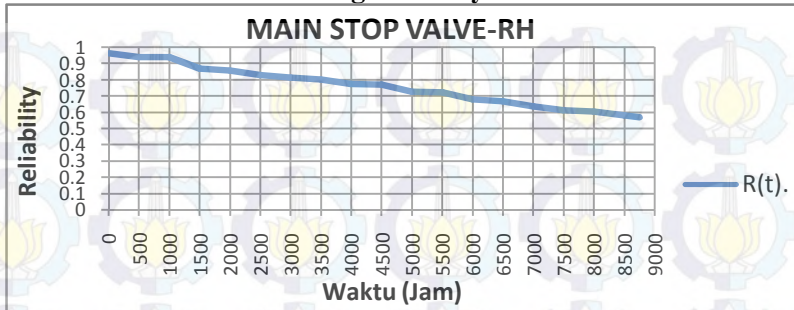


Gambar 17. Grafik *Maintainability* TBCV-3

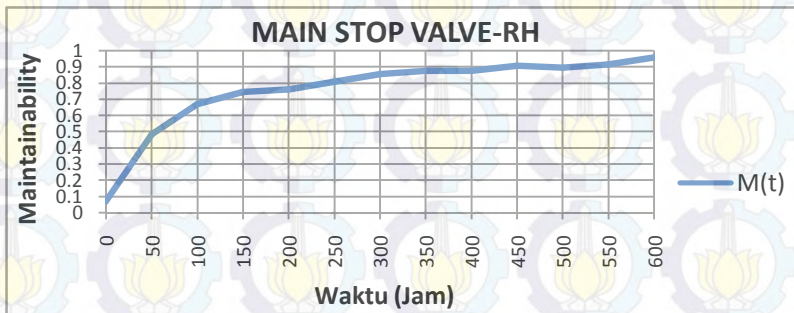


Gambar 18. Grafik *Availability* TBCV-3

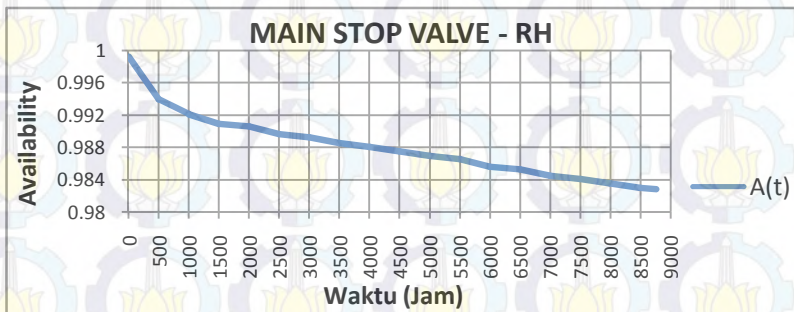
- **Grafik Hasil Metode Logika Fuzzy MSV-RH**



Gambar 19. Grafik *Reliability* MSV-RH

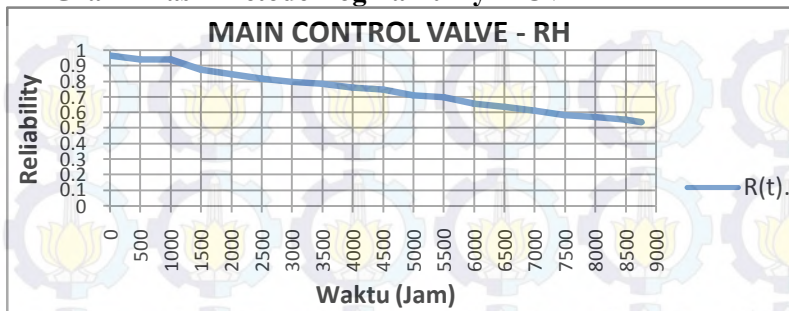


Gambar 20. Grafik *Maintainability* MSV-RH

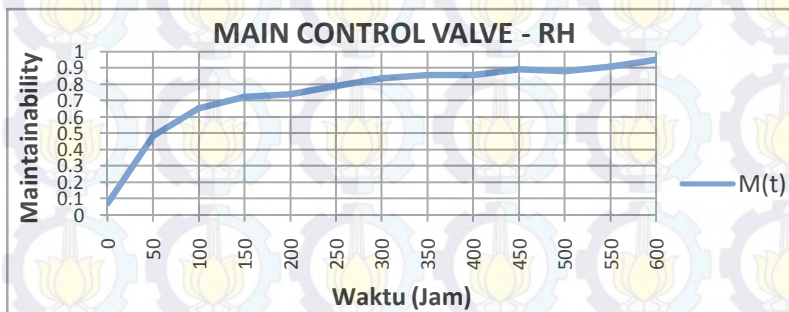


Gambar 21. Grafik *Availability* MSV-RH

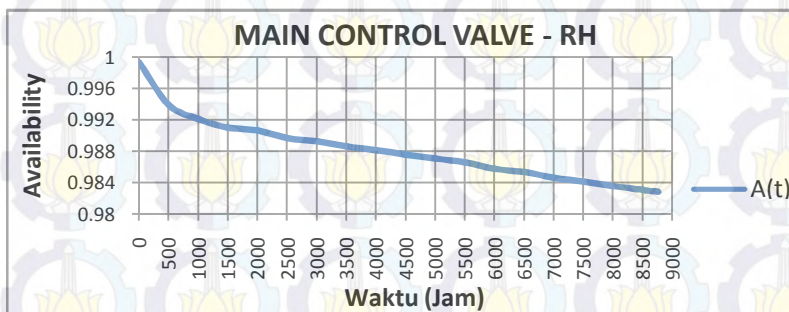
- **Grafik Hasil Metode Logika Fuzzy MCV-RH**



Gambar 22. Grafik *Reliability* MCV-RH

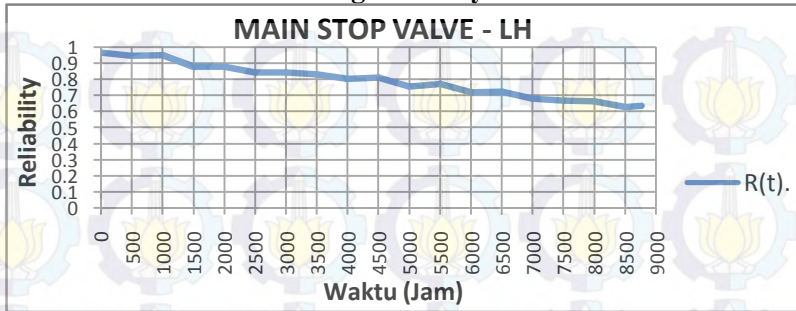


Gambar 23. Grafik *Maintainability* MCV-RH

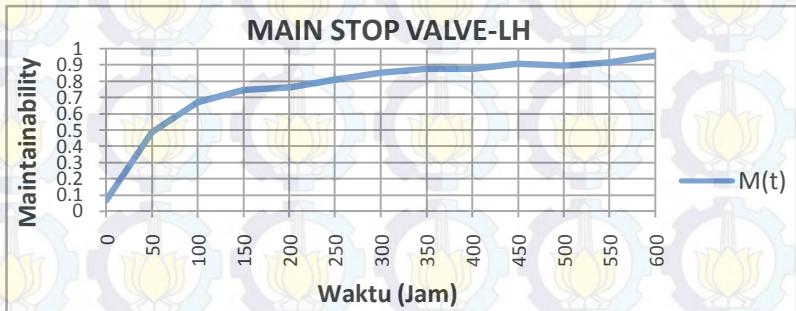


Gambar 24. Grafik *Availability* MCV-RH

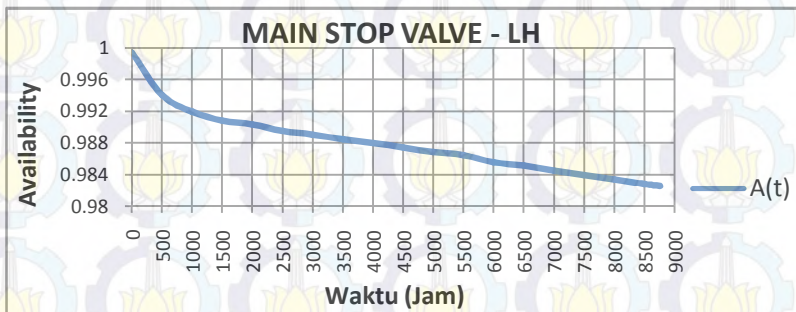
- **Grafik Hasil Metode Logika Fuzzy MSV-LH**



Gambar 25. Grafik *Reliability* MSV-LH

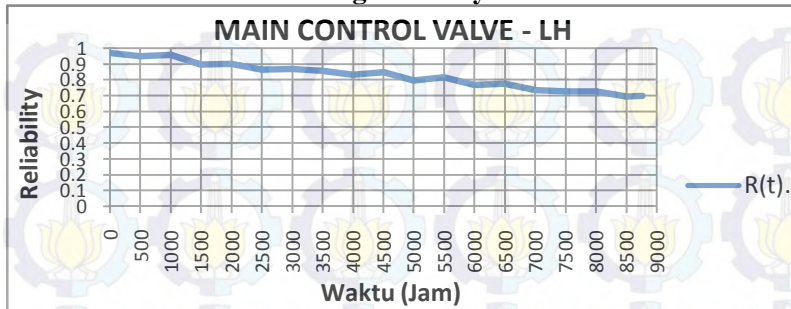


Gambar 26. Grafik *Maintainability* MSV-LH

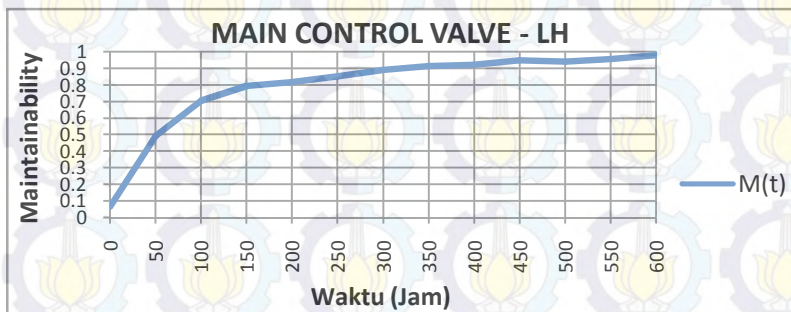


Gambar 27. Grafik *Availability* MSV-LH

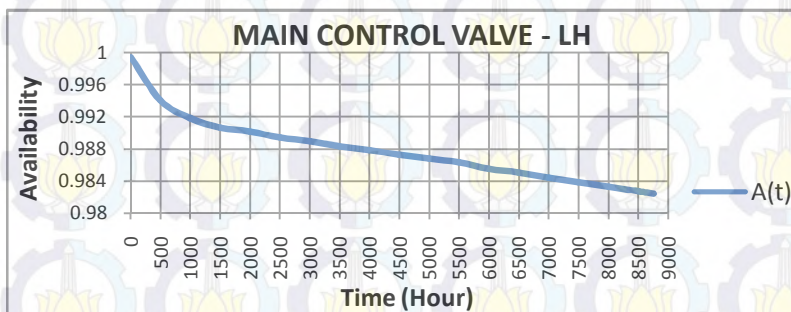
- **Grafik Hasil Metode Logika Fuzzy MCV-LH**



Gambar 28. Grafik *Reliability* MCV-LH



Gambar 29. Grafik *Maintainability* MCV-LH



Gambar 30. Grafik *Availability* MCV-LH

LAMPIRAN E

HASIL PERHITUNGAN KETIDAKPASTIAN (*UNCERTAINTY*)

Perhitungan ketidakpastian (*uncertainty*) dilakukan untuk mengetahui hubungan antara pengaruh nilai *reliability* metode kuantitatif terhadap nilai *reliability* metode logika fuzzy. Metode yang digunakan adalah metode regresi linear, dimana yang akan menjadi variabel terikat (y_i) adalah nilai *reliability* metode logika fuzzy. Sedangkan yang menjadi variabel bebas (x_i) adalah nilai *reliability* metode kuantitatif dengan distribusi yang berbeda, yaitu distribusi weibull-2, distribusi weibull-3, distribusi normal, dan distribusi lognormal. Untuk R adalah faktor residual (*error*) dengan persamaan matematis seperti pada persamaan (2.22) pada bab sebelumnya. Berikut adalah hasil perhitungan ketidakpastian tiap distribusi pada $t=7000$ jam.

Tabel 1. Hubungan Nilai *Reliability* Distribusi Weibull-3 dengan Nilai *Reliability* Logika Fuzzy

No	x_i	y_i	x^2	$x_i \cdot y_i$	R	SSR
1	0.659522	0.614979	0.434969	0.405592	0.552677	0.305452
2	0.356242	0.393038	0.126908	0.140017	0.359542	0.12927
3	1	0.890379	1	0.890379	0.795738	0.633199
4	0.546474	0.424191	0.298634	0.231809	0.372626	0.13885
5	0.572232	0.568991	0.327449	0.325595	0.51498	0.265204
6	0.710704	0.727155	0.5051	0.516792	0.659992	0.435589
7	0.599711	0.635953	0.359653	0.381388	0.579332	0.335625
8	0.614942	0.610448	0.378154	0.37539	0.55238	0.305124
9	0.778089	0.682353	0.605422	0.530931	0.608789	0.370624
10	0.784292	0.735881	0.615114	0.577146	0.661728	0.437884
Σ	6.622208	6.283368	4.651404	4.375039	5.657783	3.356822

Sehingga, dari hasil data di atas didapatkan nilai a , b , y , dan U melalui persamaan berikut ini.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - [\sum_{i=1}^n x_i][\sum_{i=1}^n y_i]}{n \sum_{i=0}^n x_i^2 - [\sum_{i=0}^n x_i]^2}$$

$$b = 0.949811$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$a = -0.00034$$

$$y = a + b.x$$

$$y = -0.00034 + 0.949811 . x$$

$$U = \sqrt{\frac{SSR}{(n - Var)}}$$

$$U = \sqrt{\frac{3.356822}{(10 - 2)}}$$

$$U = 0.647767$$

Tabel 2. Hubungan Nilai *Reliability* Distribusi Normal dengan Nilai *Reliability* Logika Fuzzy

No	x_i	y_i	x^2	$x_i \cdot y_i$	R	SSR
1	0.717209	0.614979	0.514389	0.441068	0.004396	1.93E-05
2	0.480175	0.393038	0.230568	0.188727	-0.01574	0.000248
3	0.849112	0.890379	0.720991	0.756031	0.167496	0.028055
4	0.849112	0.424191	0.720991	0.360186	-0.29869	0.089217
5	0.68107	0.568991	0.463856	0.387523	-0.01082	0.000117
6	0.801967	0.727155	0.643151	0.583154	0.044411	0.001972
7	0.72623	0.635953	0.52741	0.461848	0.01769	0.000313
8	0.692883	0.610448	0.480087	0.422969	0.020576	0.000423
9	0.797807	0.682353	0.636496	0.544386	0.00315	9.92E-06
10	0.785465	0.735881	0.616955	0.578009	0.067186	0.004514
Σ	7.38103	6.283368	5.554895	4.723902	-0.00035	0.124888

Sehingga, dari hasil data di atas didapatkan nilai a , b , y , dan U melalui persamaan berikut ini.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - [\sum_{i=1}^n x_i][\sum_{i=1}^n y_i]}{n \sum_{i=0}^n x_i^2 - [\sum_{i=0}^n x_i]^2}$$

$$b = 0.851386$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$a = -3.9E-05$$

$$y = a + b \cdot x$$

$$y = -3.9E-05 + 0.851386 \cdot x$$

$$U = \sqrt{\frac{SSR}{(n - Var)}}$$

$$U = \sqrt{\frac{0.124888}{(10 - 2)}}$$

$$U = 0.124944$$

Tabel 3. Hubungan Nilai *Reliability* Distribusi Lognormal dengan Nilai *Reliability* Logika Fuzzy

No	x_i	y_i	x^2	$x_i \cdot y_i$	R	SSR
1	0.577838	0.614979	0.333897	0.355358	0.008869	7.87E-05
2	0.309647	0.393038	0.095881	0.121703	0.068529	0.004696
3	0.939199	0.890379	0.882095	0.836243	-0.09516	0.009055
4	0.412055	0.424191	0.169789	0.17479	-0.00785	6.16E-05
5	0.554974	0.568991	0.307996	0.315775	-0.01311	0.000172
6	0.653449	0.727155	0.426996	0.475159	0.041654	0.001735
7	0.64787	0.635953	0.419736	0.412015	-0.04369	0.001909
8	0.564003	0.610448	0.318099	0.344295	0.018865	0.000356
9	0.572831	0.682353	0.328135	0.390873	0.0815	0.006642
10	0.762538	0.735881	0.581464	0.561137	-0.06416	0.004117
Σ	5.994404	6.283368	3.864088	3.987348	-0.00456	0.028823

Sehingga, dari hasil data di atas didapatkan nilai a , b , y , dan U melalui persamaan berikut ini.

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - [\sum_{i=1}^n x_i][\sum_{i=1}^n y_i]}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - [\sum_{i=1}^n x_i]^2}$$

$$b = 1.050171$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$a = -0.00062$$

$$y = a + b.x$$

$$y = -0.00062 + 1.050171.x$$

$$U = \sqrt{\frac{SSR}{(n - Var)}}$$

$$U = \sqrt{\frac{0.028823}{(10 - 2)}}$$

$$U = 0.060024$$



DAFTAR PUSTAKA

- [1]. J. B. Bowles. "Application of Fuzzy Logic to Reliability Engineering", Proceedings of The IEEE, Vol. 83, pp. 435-449. 1992
- [2]. Arnljot, H., dan Marvin, R. "System Reliability Theory". John Wiley & Sons Inc., The Norwegian Institute of Technology, 1994.
- [3]. Ebeling, Charles E. An Introduction To Reliability And Maintainability Engineering. Singapore: The Mc GrawHill Companies, 1997.
- [4]. Klir, George J., dan Yuan, Bo. "Fuzzy Sets and Fuzzy Logics: Theory and Applications". New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1995.
- [5]. Kusumadewi, Sri dan Purnomo, Hari. 2010. "Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan Edisi 2". Graha ilmu, Yogyakarta.
- [6]. Anonim.1992." Gresik Combine Cycle Power Plant Maintenance Design Manual Volume 2". Mitshubishi,Ltd
- [7]. Pamungkas, Nur Setiaji., Junaidi., Hardono, Triatmo Sugih. 2013. "Model Regresi Linier Pengaruh Komposisi Kendaraan Terhadap Tingkat Kecelakaan pada Jalan Tol Surabaya - Gempol". Wahana TEKNIK SIPIL Vol 18 No. 1, 22-31.
- [8]. Musyafa, A., Prasetya, Guntur E. 2007. "Penelitian Ketidakpastian Pengukuran Kalibrasi Tegangan AC/DC dengan Kalibrator Fluke-5700A di Perusahaan Telekomunikasi". Jurnal Teknik Fisika, ISSN. 1907-266X Volume 2 Nomor 3, halaman 120-131.
- [9]. Darmayanto, Catur. 2004. "Optimalisasi Kelembaban Udara pada Tabung Baby Incubator Melalui Integrasi Pengendalian Temperatur dan Kelembaban". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.